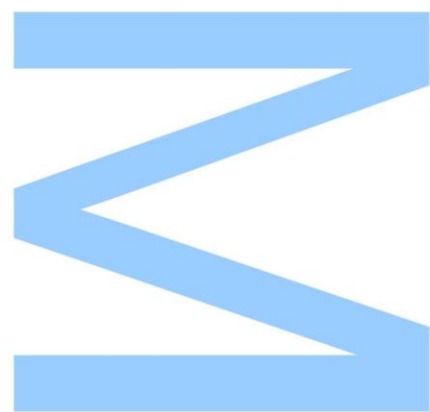


# Estudo das mineralizações de Ouro em Rates e Corvos



André Miguel Almeida Vieira

Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território

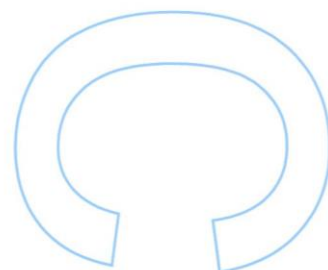
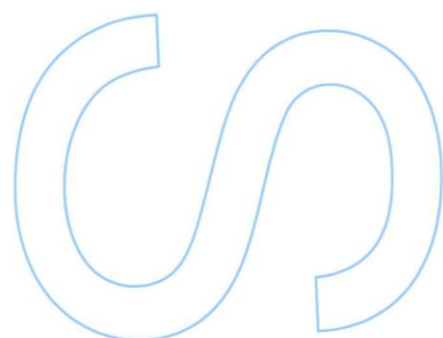
2016/2017

**Orientador**

Alexandre Martins Campos Lima, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

**Coorientador**

Maria dos Anjos Marques Ribeiro, Professora Associada, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



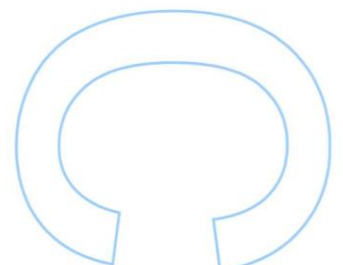
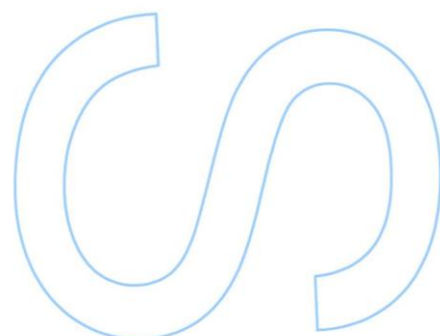
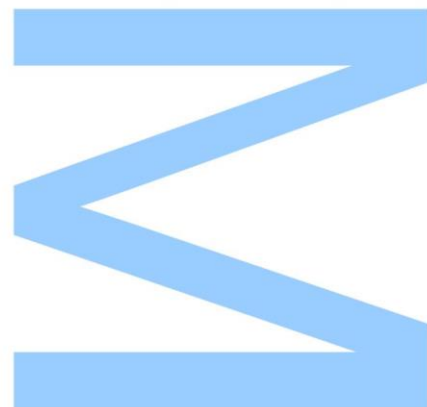




Todas as correções determinadas  
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_







*"Rocks and minerals: the oldest storytellers."*

Alexander Posey



# Agradecimentos

Ao Professor Alexandre Lima pela sua orientação, apoio, interesse e disponibilidade demonstrada ao longo do ano.

À Professora Maria dos Anjos por todo o conhecimento transmitido, orientação, apoio e disponibilidade demonstrados durante todo o trabalho realizado.

A todos os docentes e membros do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território.

Aos meus amigos e colegas pelos anos de apoio e amizade, em especial á Cátia Dias pela disponibilidade que sempre demonstrou, ao Ricardo Ribeiro e à Sara Leal pela ajuda durante a saída de campo.

À minha família por todo o apoio, confiança, compreensão e acima de tudo pelo esforço para que esta experiência fosse possível.

À Daniela Rodrigues por toda a paciência, ajuda, pelo apoio incondicional, incentivo e acima de tudo por sempre acreditar em mim.



## Resumo

No distrito mineiro Dúrico-Beirão estão descritas várias associações paragenéticas entre as quais as associações de Sb-Au e Au-As. Estas associações encontram-se espalhadas um pouco por todo o distrito, sendo que em alguns pontos o estudo destas mineralizações é ainda pouco pormenorizado e a sua forma de ocorrência ainda desconhecida.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo das mineralizações de Au nas regiões de Rates e Corvos, desde a deteção, quantidade e estado mineralógico do ouro, à sua afinidade com outros elementos e minerais e ainda a comparação entre as associações paragenéticas nas duas regiões referidas.

As regiões de Rates e Corvos, referidas ao longo deste trabalho, enquadram-se no distrito mineiro Dúrico-Beirão. Este distrito localiza-se no NW de Portugal e estende-se por 90 km desde Lagoa Negra até Castro Daire. A geologia do distrito Dúrico-Beirão é influenciada pelo Anticlinal de Valongo, que aflora ao longo de todo o distrito.

Para a realização deste trabalho procedeu-se à recolha de várias amostras de ambas as localizações. A partir das amostras recolhidas foram feitas análises químicas que acabaram por ser comparadas com resultados já existentes noutros trabalhos relativos tanto à região de Rates como à região de Lagoa Negra. Ainda às amostras referidas anteriormente foi realizada tanto a análise microscópica como a análise ao microscópio eletrónico de varrimento e Raio X.

Segundo os resultados obtidos foi possível concluir que na região de Rates a associação paragenética encontrada é de Sb-Au, o ouro encontrado nesta região encontra-se sob a forma de elemento nativo na forma granular e associação a minerais de antimónio, os minerais identificados foram a estibiconite e a valentinite. A mineralização foi encontrada numa estrutura filoniana dentro de uma mina de antimónio que se encontra cartografada na folha 9-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

Na região de Corvos os resultados não foram muito conclusivos, mas é possível que nesta zona a paragénes mineralógica seja do tipo Au-As, isto deve-se ao facto de os valores nas análises químicas de As serem mais significativos que os de Sb, mas também devido à grande percentagem de minerais de As, neste caso arsenopirite, em detrimento dos minerais de antimónio.

**Palavras-chave:** Ouro, Antimónio, Distrito Mineiro Dúrico-Beirão, Mineralização de Au



# Abstract

In Dúrico-Beirão mining district there are described several paragenetic associations, including the Sb-Au and Au-As associations. These associations can be found spread in all district, being that in some places there are few studies of these mineralization and the occurrence form of that mineralization is unknown.

The present work had as objective the study of the Au mineralization in Rates and Corvos areas, since the detection, quantity and mineralogic state of gold, to affinity with other minerals and chemical elements and to the comparison of mineralogic associations in both areas.

The Rates and Corvos regions, referred in the present work, are in the Dúrico-Beirão mining district. The Dúrico-Beirão mining district is located in NW of Portugal and it has an extension of 90 km from Lagoa Negra to Castro Daire. The Dúrico-Beirão mining district is influenced by the Valongo anticline, that outcrop in all district.

To do this work, it was made the collection of several samples in both areas. From these samples were made chemical analysis that were compared to chemical analysis of samples of Lagoa Negra and Rates areas collected in previous studies. These samples were analysed too in optic microscopy, scanning electron microscopy and X-ray.

According to the results it is possible to conclude that in Rates area the mineralization found is Sb-Au, the gold in this area was found as a native element in the granular form and with association to antimony minerals, being those minerals stibiconite and valentinite. The mineralization was found in a philonian structure inside an antimony mine. This mine is mapped in the 9-A sheet of the Portuguese Geologic Chart to scale 1:50 000 as a Sb mine.

In Corvos region the results were not very conclusive, but it is possible that in this region the mineralization present is type Au-As, this occur due to the fact that in the chemical analysis the values of As are more significant than the Sb values, and also because in the optic analyses was found a great percentage of arsenopyrite minerals in detriment of antimony minerals.

**Keywords:** Gold, Antimony, Dúrico-Beirão Mining District, Au Mineralization





# Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	V
Abstract.....	VII
Índice .....	IX
Índice de Figuras .....	XIII
Índice de Tabelas .....	XVII
Lista de Abreviaturas.....	XIX
1. Introdução.....	3
2. Enquadramento da Área de Trabalho .....	7
2.1. Enquadramento Geográfico e Geomorfológico.....	7
2.2. Enquadramento Geológico .....	9
2.2.1. Maciço Ibérico.....	9
2.2.2. Zona Centro Ibérica .....	12
2.2.2.1. Estrutural .....	12
2.2.2.2. Estratigrafia .....	14
2.2.2.2.1. Proterozóico Superior e/ou Câmbrio .....	14
2.2.2.2.2. Ordovícico .....	14
2.2.2.2.3. Silúrico.....	15
2.2.2.2.4. Devónico .....	15
2.2.2.2.5. Carbonífero .....	16
2.2.2.3. Metamorfismo.....	16
2.2.2.4. Rochas Magmáticas.....	17
2.2.3. Recursos Minerais.....	18
3. As mineralizações de Au e Sb no Distrito Dúrico-Beirão .....	23
3.1. Ouro (Au) .....	23
3.1.1. Ocorrências em Portugal.....	25
3.1.2. Aplicações .....	26

3.2.	Antimónio (Sb) .....	27
3.2.1.	Ocorrências em Portugal.....	28
3.2.2.	Aplicações .....	31
3.3.	Mineralizações no Distrito mineiro Dúrico-Beirão .....	32
3.3.1.	Mineralizações de Sb-Au .....	34
3.3.2.	Controlos Litológicos e Estratigráficos das mineralizações .....	35
4.	Metodologia .....	39
4.1.	Amostragem.....	39
4.1.1.	Métodos de extração da amostra.....	41
4.2.	Petrologia .....	43
4.2.1.	Preparação das amostras .....	44
4.3.	Microscopia Eletrónica de Varrimento.....	46
5.	Resultados.....	49
5.1.	Amostragem.....	49
5.1.1.	Amostras.....	51
5.2.	Análises Químicas .....	56
5.3.	Análise Petrográfica.....	57
5.4.	Microscopia eletrónica de varrimento e Microanálise por Raios-X.....	69
5.4.1.	Amostras de Rates .....	69
5.4.1.1.	Pontos de Ouro .....	69
5.4.1.2.	Outros Minerais .....	75
5.4.2.	Amostra de Corvos (AV2) .....	86
6.	Discussão.....	93
7.	Conclusão.....	100
8.	Bibliografia.....	104
Anexos .....		107
Anexo I .....		109
Anexo II .....		111
Anexo III .....		113

Anexo IV.....	115
---------------	-----



# Índice de Figuras

Figura 1 – Localização e enquadramento geológico e estrutural das mineralizações de Sb-Au no distrito mineiro Dúrico-Beirão e localização do distrito mineiro Dúrico-Beirão (Adaptada de Ferreira et al, 1987(Couto, 1993).....	8
Figura 2 - Zonas Geotectónicas na parte Ocidental da Europa (Adaptada de Matte, 1986 in (Noronha, 2007).....	9
Figura 3 - Zonas geotectónicas do Maciço Ibérico (Adaptada de Dias & Ribeiro, 1995 in (Noronha, 2007). ....	11
Figura 4 - Esboço dos principais eventos de deformação do setor Norte durante o ciclo Varisco na Península Ibérica (Adaptada de Dias & Ribeiro, 1995 in (Noronha, 2007). 12	
Figura 5 - Províncias mineralógicas do Maciço Ibérico, ante-hercínicas e hercínicas (Thadeu, 1965). ....	18
Figura 6 - Principais ocorrências e depósitos de ouro em Portugal (Martins, 2012). ....	25
Figura 7 - Principais ocorrências de antimónio em Portugal continental (Moura & Velho, 2012).....	29
Figura 8 - (a) ZGTM e ZCI do Maciço Ibérico e localização do distrito de Bragança e do distrito mineiro Dúrico-Beirão; (b) Localização da figura 6c em Portugal; (c) Mapa geológico simplificado do NE de Portugal (Adaptado do mapa geológico de Portugal dos Serviços Geológicos de Portugal (1992) (Neiva et al., 2008). ....	30
Figura 9 - (a) Localização da Figura 7b no mapa de Portugal; (b) Mapa geológico de distrito mineiro Dúrico-Beirão (Adaptado de Couto (1993)) (Neiva et al., 2008) . ....	31
Figura 10 - Distribuição das mineralizações identificadas para o distrito mineiro Dúrico-Beirão (Couto, 1993). ....	33
Figura 11 - Sucessão paragenética e evolução geoquímica das mineralizações de Ribeira da Igreja (Sb-Au) (Couto, 1993). ....	34
Figura 12 - Exemplos de metodologias de amostragem (Berry, 2007).....	40
Figura 13 - Método de amostragem do tipo Grab.....	42
Figura 14 – A: Exemplo de lâmina Delgada/Polida; B: Exemplo de uma secção polida. ....	45
Figura 15 – Esquema de comparação entre microscópio ótico e MEV (Dedavid et al., 2007).....	46
Figura 16 – A: Localização do local de amostragem no mapa de Portugal (1:4 000 000); B: Localização do local de amostragem em relação à cidade do Porto (1:1 000 000); C: Relação espacial entre os locais de amostragem (1:65 000). ....	49

Figura 17 - Localização da amostragem na Carta Geológica 9-A (Póvoa do Varzim) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, legenda Anexo I. ....	50
Figura 18 – A: Amostra AV1; B: Aspeto de dissolução e dos filonetes. ....	51
Figura 19 - Amostra AV2 – Quartzo filoniano com sulfuretos. ....	51
Figura 20 - Amostra AV3 – Granito alterado com sulfuretos.....	52
Figura 21 - Amostra AV4 – Granito tectonizado com encraves de xisto. ....	52
Figura 22 - Amostra AV5 – Rocha metassedimentar rica em óxidos de ferro.....	53
Figura 23 - Amostra AV6 – Filito com foliação dobrada. ....	53
Figura 24 - Amostra AV7 – Granito com plano de fratura com estrias de movimento. ....	54
Figura 25 - Amostra AV8 – Filito com intercalações de ftanita. ....	54
Figura 26 - Amostra AV9 – Quartzo de escombreira. ....	55
Figura 27 – A: Amostra AV10A recolhida na zona mineralizada sobre a estrutura tectonizada; B: Amostra AV10B – xisto cinzento adjacente à estrutura. ....	55
Figura 28 – A: Lâmina Polida I-Rates; B: Lâmina Polida P-Rates. ....	57
Figura 29 – A: Quartzo heterogranular muito fraturado; B: Quartzo subgranulado associado a opacos e zona filitosa (mica branca); C: Fragmento filitoso envolvido por óxidos de ferro. ....	58
Figura 30 - Lâmina P-Rates: A: Ponto 1 - Minerais de antimónio com estruturas fibrosas e minerais opacos; B: Ponto 2 - Quartzo subgranulado associado a opacos e zona filitosa (mica branca); C: Ponto 3 – Minerais de antimónio rodeados por massa de óxidos de ferro e grãos de quartzo. ....	59
Figura 31 - Lâmina I-Rates: A: Ponto 1 – Quartzo heterogranular, minerais opacos e mineral azul de alto relevo; B: Ponto 2 - Minerais opacos no núcleo de oxidação na lâmina rodeado por quartzo; C: Ponto 3 - Minerais opacos e semi-opacos associados a filossilicatos.....	60
Figura 32 – A: Lâmina RT4; B: Superfície Polida RT2; C: Superfície Polida RT3.....	61
Figura 33 - Ouro observado na Secção Polida RT2, associado a minerais de antimónio. ....	61
Figura 34 - Ouro observado na lâmina RT4 associado a minerais de antimónio.....	62
Figura 35 - Lâmina RT4: A: Ponto 1 - Minerais opacos e semi-opacos associados a quartzo; B: Ponto 2 - Minerais de antimónio associados a quartzo. ....	62
Figura 36 - Lâmina RT4: A: Ponto 3 – Minerais cinzentos associados a óxidos de ferro; B: Ponto 4 – Massa de óxidos de ferro rodeada por minerais semi-opacos; C: Ponto 5 - Minerais cinzentos e opacos possivelmente minerais de antimónio.....	63
Figura 37 – A: Rates 2 – Grãos de ouro associados a minerais de antimónio; B: Rates 3. ....	64
Figura 38 – A: Lâmina Polida (AV2L); B: Secção Polida (AV2S).....	65

Figura 39 - Plagioclase cataclasitada e sericitizada.....	65
Figura 40 – A: Quartzos com lamelas de formação; B: Quartzos em corredores de subgranulação e presença de feldspatos alterados e de minerais opacos; C: Plagioclase fraturada preenchida por quartzos; D: Grão de quartzos fraturado preenchido por quartzos criptocristalino com alguns filosilicatos. ....	66
Figura 41 – A: Mineral de plagioclase euédrico visível em amostra de mão; B: Arsenopirite associada a plagioclase; C: Arsenopirite euédrica associada a plagioclase alterada.....	67
Figura 42 – A: Plagioclase sericítica e feldspato pertítico; B: Moscovite secundária sobre o feldspato alterado.....	68
Figura 43 – Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	69
Figura 44 - Grão de Ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	70
Figura 45 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	71
Figura 46 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	71
Figura 47 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	72
Figura 48 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	72
Figura 49 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	73
Figura 50 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	73
Figura 51 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	73
Figura 52 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	74
Figura 53 - Outros grãos ouro identificados para a secção R4.....	74
Figura 54 - Mineral visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS. ....	75
Figura 55 – Mineral de arsenopirite visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.....	76
Figura 56 – Scorodite visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS. ....	77
Figura 57 - Mineral visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS. ....	77
Figura 58 - Mineral estibiconite visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS. ....	78
Figura 59 - Mineral estibiconite ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS...	79
Figura 60 – Óxido de antimónio associado a grão de ouro ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS. ....	80
Figura 61 – Valentinite vista ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.....	81
Figura 62 – Valentinite vista ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.....	81
Figura 63 - Mineral visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS. ....	82
Figura 64 - Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS. ....	83

Figura 65 - Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.	83
Figura 66 – Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.	84
Figura 67 - Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.	85
Figura 68 – Albite vista ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.....	86
Figura 69 - Feldspato potássico visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.	87
Figura 70 – Mineral de arsenopirite visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.....	88
Figura 71 – Óxido de arsénio e ferro visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.....	89
Figura 72 – Feldspato potássico visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.....	89
Figura 73 – Plagioclase sódica e óxido de titânio vistos ao microscópio eletrónico e espetro EDS do óxido de titânio.....	90



# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do Ouro. ....	23
Tabela 2 - Principais ocorrências de Ouro. ....	23
Tabela 3 - Principais propriedades físico-químicas do antimónio. ....	27
Tabela 4 - Alguns minerais de antimónio. ....	27
Tabela 5 - Resultado da análise química dos elementos mais significativos estudados. .....	56
Tabela 6 - Percentagens dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates Z1 C2. ....	70
Tabela 7 - Percentagens dos vários elementos identificados para o ponto R4 Z3. ....	72
Tabela 8 - Percentagem dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C1 Z2. .....	75
Tabela 9 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I- Rates C2 Z1. ....	76
Tabela 10 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C2 Z2. ....	76
Tabela 11 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C2 Z3. ....	77
Tabela 12 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C3 Z1. ....	78
Tabela 13 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z1. ....	79
Tabela 14 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z3. ....	80
Tabela 15 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z4. ....	80
Tabela 16 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z5. ....	81
Tabela 17 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z6. ....	82
Tabela 18 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z7. ....	82
Tabela 19 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z7. ....	83

Tabela 20 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C2 Z1.....	84
Tabela 21 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C2 Z2.....	84
Tabela 22 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z1.....	86
Tabela 23 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z2.....	87
Tabela 24 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z3.....	87
Tabela 25 - Percentagem dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z4...	88
Tabela 26 - Percentagem dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z5...	89
Tabela 27 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z9.....	90

# Lista de Abreviaturas

AC – Antes de Cristo;

Ag - Prata;

As - Arsénio;

Au – Ouro;

Bi – Bismuto;

Ca – Cálcio;

Cu – Cobre;

CXG – Complexo Xisto-Graváquico;

E – Este;

EDS ou EDX - *Energy Dispersed X-ray* – Raio-X de Energia Dispersa;

EUA – Estados Unidos da América;

ENE – Este-nordeste;

eV - Elétron-volt;

g/t – Gramas por Tonelada;

IOCG - Iron Oxide Copper-Gold;

Kr – Cripton;

m – Metro;

MEV – Microscópio Eletrónico de Varrimento;

mm – Milímetro;

N – Norte;

Na – Sódio;

NE – Nordeste;

NNE – Nor-nordeste;

NNW – Nor-noroeste;

NW – Noroeste;

O – Oxigénio;

Pb – Chumbo;

S – Enxofre;

Sb - Antimónio;

SE – Sudeste;

Sn – Estanho;

SSE – Su-sudeste;

SSW – Su-sudoeste;

Te – Telúrio;

W – Oeste;

W – Tungsténio;

WSW - Oés-sudoeste;

Xe – Xénon;

ZAOL – Zona Astúrica Ocidental Leonesa;

ZC – Zona Cantábrica;

ZCI – Zona Centro Ibérica;

ZGTM – Zona Galiza Trás-os-Montes;

ZOM – Zona Ossa Morena;

Zn – Zinco e

ZSP – Zona Sul Portuguesa.

# Introdução

---



# 1.Introdução

No NW de Portugal, mais precisamente na zona denominada como Distrito Mineiro Dúrico–Beirão, é possível encontrar uma das maiores concentrações de trabalhos romanos de exploração de Au do NW ibérico. A herança desta atividade conserva-se ainda hoje, sendo que ao longo dos anos alguns destes trabalhos foram sujeitos a tentativas de reativação da atividade mineira aurífera na região.

Atualmente ambas as áreas de estudo encontram-se inseridas na área de concessão de prospeção e pesquisa de Balazar, esta área tem sido alvo de trabalhos de prospeção ao longo dos anos, especialmente na região de Lagoa Negra.

Nas zonas em estudo existem já alguns trabalhos mineiros, destacando-se as minas de Sb na zona de Rates, bem como outros trabalhos mineiros que envolvem as áreas de estudo. Este trabalho centra-se no estudo das mineralizações de Sb-Au na região de Rates e de Corvos e tinha como objetivo a identificação das estruturas mineralizantes em campo, identificação das litologias associadas a estas estruturas, identificação do estado de ocorrência do ouro e a sua associação com outros minerais e elementos e se possível a identificação da associação paragenética em cada local.





# Enquadramento da Área de Trabalho

---



## 2. Enquadramento da Área de Trabalho

### 2.1. Enquadramento Geográfico e Geomorfológico

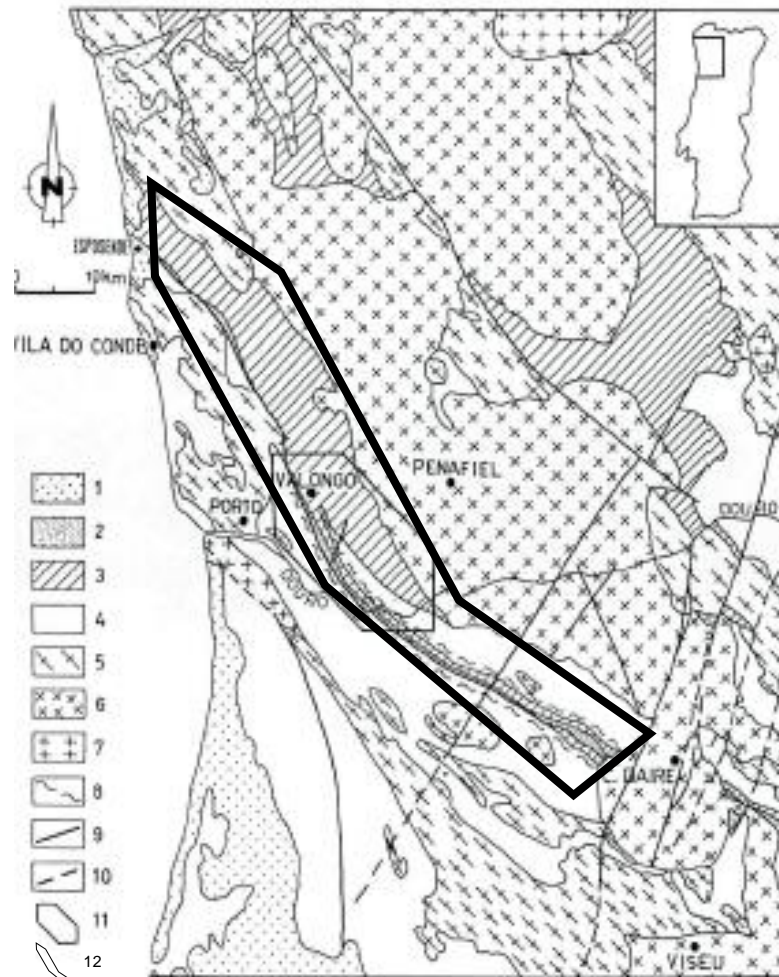
O distrito mineiro Dúrico-Beirão situa-se no NW de Portugal perto da cidade do Porto, estendendo-se por cerca de 90 km com orientação NW-SE desde Lagoa Negra, situada no Concelho de Esposende, no Distrito de Braga até Castro Daire, situada no distrito de Viseu. Atravessando também os concelhos de Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Valongo, entre outros (Figura 1).

A nível cartográfico, a área de estudo é coberta pelas folhas nº 82, 83, 96 e 97 da carta militar de Portugal à escala 1:25 000 do Instituto Geográfico do Exército.

As amostras estudadas foram recolhidas em dois locais distintos: na freguesia de Rates, concelho da Póvoa do Varzim, e perto da aldeia de Corvos, na freguesia de Bagunte, no concelho de Vila do Conde.

A geomorfologia da zona de Rates e Corvos é idêntica à que se verifica por toda a região perto do Porto, ou seja, trata-se de uma zona com relevos fracos, cortada por um grande número de linhas de águas, em que se destaca o rio Este afluente do rio Ave.

Em termos de relevo destaca-se principalmente a Serra de Rates com direção NW-SE, que é formada por terrenos do Paleozóico, em que se destacam os quartzitos do ordovícico que materializam as cristas da serra e outras cristas quartzíticas como o monte de São Feliz (202 m), Courel (199 m), Algarves (153 m), Negreiros (140 m), Pedras Brancas (158 m), Pedras Negras (230 m) e Soledade (205 m) que limitam o Vale de Rates e Balazar, que é atravessado pelo rio Este. A aldeia de Corvos fica localizada perto do monte da Soledade, ou seja, na zona SE do Vale de Rates e Balazar.



**Figura 1** – Localização e enquadramento geológico e estrutural das mineralizações de Sb-Au no distrito mineiro Dúrcio-Beirão e localização do distrito mineiro Dúrcio-Beirão (Adaptada de Ferreira *et al*, 1987 in Couto, 1993).

Legenda: 1 – Quaternário; 2 – Carbonífero; 3 – Ordovício a Devónico; 4 – Pré-câmbrico e/ou Câmbrio; 5 – Granitóides sin a tardi F3; 6 – Granitóides sin – orogénicos biotíticos tardi F3 a pós F3; 7 – Granitóides tardi a pós – orogénicos; 8 - Cisalhamento; 9 – Falha; 10 – Falha suposta; 11 - Localização das mineralizações de Sb-Au e 12 – Localização aproximada do distrito mineiro Dúrcio-Beirão.

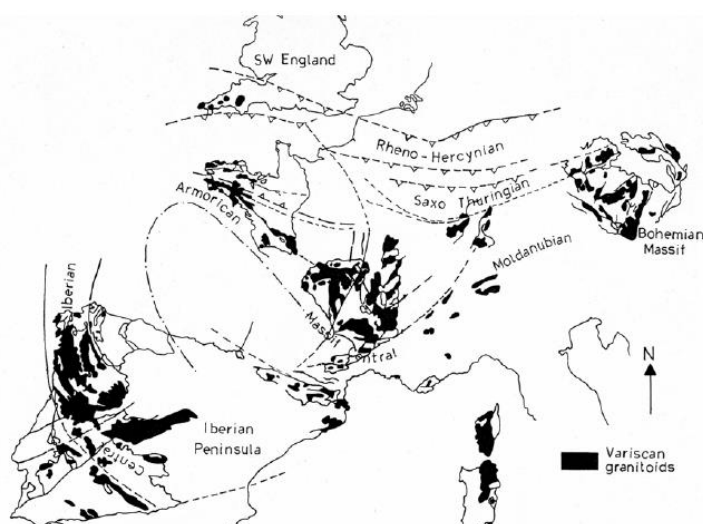
## 2.2. Enquadramento Geológico

A área em estudo está enquadrada no distrito mineiro Dúrico-Beirão, que se estende desde a região Lagoa Negra (distrito de Braga) até Gafanhão (distrito de Viseu) numa extensão de cerca de 90 km, o distrito mineiro encontra-se cartografado em várias folhas da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000 e a área onde as amostras foram recolhidas encontram-se representadas na folha 9-A (Póvoa do Varzim) da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000.

A nível regional, a geologia das zonas de amostragem encontra-se condicionada pela estrutura do Anticlinal de Valongo. Esta estrutura prolonga-se por todo o distrito mineiro, sendo uma das principais características da geologia desta região.

### 2.2.1. Maciço Ibérico

A parte central e ocidental da península ibérica é composta essencialmente por terrenos pertencentes à cordilheira varisca formando o Maciço Ibérico, Hespérico ou Central (Julivert et al., 1972; Noronha, 2007). O Maciço Ibérico é apenas um dos vários maciços do Orógeno Varisco (Figura 2) que se alonga no continente europeu numa direção E-W. Cada zona apresenta características paleogeográficas, tectónicas, metamórficas e magmáticas distintas. No NW da península ibérica é possível identificar três fases de deformação (D1, D2 e D3), responsáveis pela estruturação do Maciço Ibérico (Noronha, 2007).

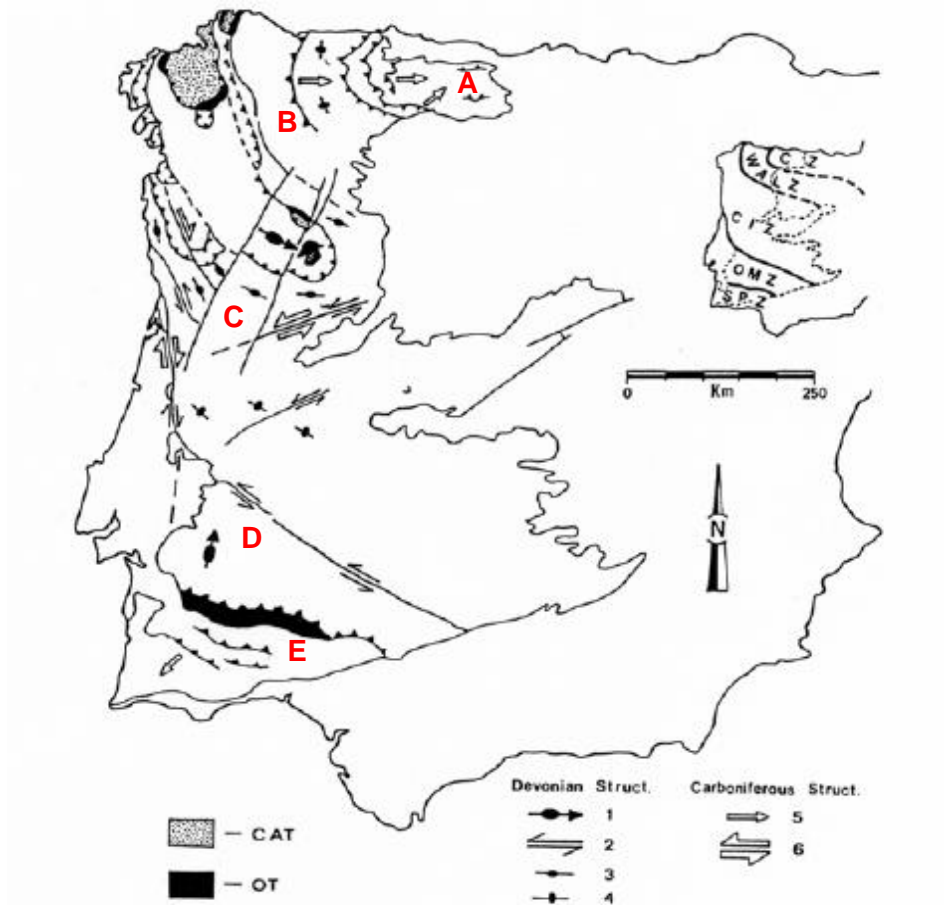


**Figura 2** - Zonas Geotectónicas na parte Ocidental da Europa (Adaptada de Matte, 1986 in Noronha, 2007).

O Maciço Ibérico encontra-se dividido numa série de zonas geotectónicas que correspondem a unidades paralelas à direção das estruturas hercínias, em que cada zona tem a sua própria identidade paleogeográfica, estrutural, metamórfica, magmática e metalogénica. Estas zonas encontram-se divididas por grandes acidentes tectónicos, sugerindo um controlo tectónico através de falhas profundas (Julivert et al., 1972; Ribeiro et al., 1979).

Lotze (1954) dividiu o Maciço Ibérico em seis zonas, mais tarde no Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares de Julivert (1972) são apenas apresentadas cinco zonas, a diferença no número de zonas consiste no facto da zona Galiza – Trás-os-Montes (ZGTM) definida por Lotze (1954) ter sido incorporada na Zona Centro Ibérica (ZCI) definida por Julivert (1972). Ribeiro (1979) divide o Maciço Ibérico em cinco zonas mais uma sub-zona (Figura 3):

- Zona Cantábrica (ZC) (A) - trata-se da zona mais a NE do Maciço Ibérico e forma o núcleo do arco das estruturas hercinianas no N do maciço, é limitada a W por uma franja de rochas pré-câmblicas que formam o núcleo do Anticlinal de Narcea, nos restantes bordos é limitada pelo mar ou pela cobertura mesozóica, caracteriza-se pela fraca representação do paleozóico inferior (< 1.000 m separam o Câmbrico Médio do Ordovício Inferior) e fácies de pouca profundidade quase sempre incompletas;
- Zona Astúrica Ocidental Leonesa (ZAOL) (B) – esta zona é limitada por dois anticlinais cujo o núcleo é materializado por rochas pré-câmblicas. Esta zona é caracterizada pela presença quase exclusiva do Câmbrico, Ordovício, em menor quantidade do Silúrico e em quantidade reduzidas do Devónico Inferior e Carbonífero (Pré-Estafeniense);
- Zona Centro Ibérica (C) – incluindo as sequências autóctones e alóctones – Sub-ZGTM;
- Zona Ossa-Morena (ZON) (D) – limitada a N pela Zona Centro ZCI a SE pelo cavalgamento de Ficalho e a S pela Zona Sul Portuguesa (ZSP). A ZON caracteriza-se pelos grandes afloramentos de rochas do Pré-câmbrico e Câmbrico e pela manifestação de magmatismo e vulcanismo, segundo faixas largas ou estreitas, mas bem individualizadas e
- Zona Sul Portuguesa (E) – ocupa o extremo sul do Maciço Ibérico limitada a norte pela ZON e a sul pela cobertura mesozoica, a sua constituição litológica é pobre e é caracterizada pela presença de duas unidades principais: Grupo Filito-Quártico e o Complexo Vulcano-sedimentar.



**Figura 3** - Zonas geotectónicas do Maciço Ibérico (Adaptada de Dias & Ribeiro, 1995 in Noronha, 2007).

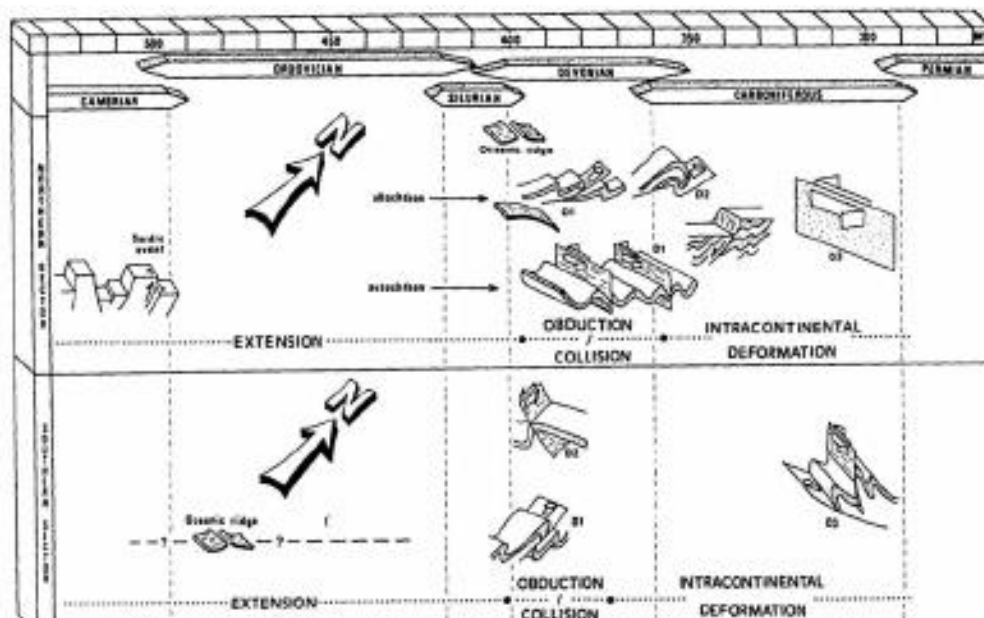
Legenda: CZ – Cantabrian Zone (A); WALZ – West Asturian-Leonese Zone (B); CIZ – Central Iberian Zone (C) OMZ – Ossa Morena Zone (D); SPZ – South Portuguese Zone (E); CAT – Continental Allochthonous terrane - Terrenos alóctones continentais; OT – Northern and Southern ophiolitic terranes - terrenos ofiolíticos Norte e Sul; 1- Sentido de cisalhamento Devónico; 2 – Zona de cisalhamento do Devónico; 3 – Alongamento em A; 4 - Alongamento em B; 5 - Sentido de cisalhamento do Carbonífero e 6 – Zona de cisalhamento do Carbonífero.

## 2.2.2. Zona Centro Ibérica

O distrito mineiro Dúrico-Beirão está localizado na ZCI, esta zona é limitada a NE pela ZAOL e a sul pela ZOM. Este contacto é materializado pelo cavalgamento do Ferreira do Zêzere e a nível estratigráfico a ZCI é caracterizada pelo carácter transgressivo dos quartzitos do Ordovícico Inferior, pela continuidade entre terrenos do Câmbrio e Ordovícico, sendo que a maior parte dos terrenos que constituem a ZCI são pré-ordovícicos (Julivert et al., 1972). A nível tectónico existem evidências de uma fase de deformação sarda de natureza epirogénica (Ribeiro et al., 1979), no NW da Península Ibérica são consideradas três fases de deformação principal (D1, D2 e D3) responsável pela estruturação desta parte do Maciço Ibérico (Noronha, 2007).

### 2.2.2.1. Estrutural

Do ponto de vista estrutural, a ZCI é controlada pela atuação da orogenia Varisca, durante a qual atuaram três fases de deformação (D1, D2 e D3) responsáveis pelo metamorfismo e deformação observáveis por toda a ZCI (Noronha, 2007; Ribeiro, 1974) (Figura 4).



**Figura 4** - Esboço dos principais eventos de deformação do setor Norte durante o ciclo Varisco na Península Ibérica (Adaptada de Dias & Ribeiro, 1995 in (Noronha, 2007)).



Na fase D1 dá-se a formação de várias dobras com orientações e vergências diferentes, dependendo do local onde se formam (alóctones, autóctones e parautóctones). Na sua maioria as dobras apresentavam uma orientação NW-SE, sub-verticais, com grande amplitude na zona mais central da qual divergem dois setores com dobras vergentes para SW e para NE. A esta fase de deformação está associada uma xistosidade S1 paralela aos planos axiais das dobras (Díez-Balda et al., 1990; Noronha, 2007; Ribeiro et al., 1979), esta fase ocorre após a deposição dos terrenos do Devónico e foi gerada por forças compressivas com orientação N70°. Esta direção corresponde também à direção predominante de estruturas mineralizadas associadas a fraturas de tração no Anticlinal de Valongo (Couto, 1993).

A fase D2 é uma fase de deformação mais local e encontra-se representada essencialmente nos maciços alóctones e parautóctones, onde o “fabric” produzido resulta da transposição das estruturas resultantes da D1, pela fase tangencial D2, através de carreamentos. O resultado da fase D2 é o aumento das vergências para SE formadas durante a fase D1 e na formação de novas dobras deitadas de flanco inverso muito curto. A fase D2 desenvolve-se no núcleo de antiformas onde o metamorfismo é de médio a alto grau, o resultado é a formação de dobras menores assimétricas que afetaram a clivagem S1 e permitiu a formação de xistosidade sub-horizontal, os principais cavalgamentos da ZCI formaram-se durante esta fase de deformação (Díez-Balda et al., 1990; Noronha, 2007). A referida fase ocorre após a deposição do Carbonífero, durante a fase D2 em que atuaram forças compressivas com direção N40° (Couto, 1993).

A fase de deformação D3 é responsável pela formação de dobramentos de pequena e larga amplitude com planos axiais verticais e sub-paralelos ao Arco Ibero-Armoricano e pelo desenvolvimento de zonas verticais de cisalhamento dúctil, o período tardi a pós D3 é marcado por uma deformação dúctil-frágil e frágil onde se desenvolveu um sistema de fraturas com direção NNE-SSW e o conjugado NNW-SSE (Noronha, 2007; Ribeiro, 2006).

O Anticlinal de Valongo é um Anticlinal assimétrico, com direção NW-SE, cujo eixo mergulha 5° a 15° para NW com um plano axial a inclinar 60° para NE, esta dobra principal foi formada durante a primeira fase de deformação (Couto, 1993).

### **2.2.2.2. Estratigrafia**

A ZCI é caracterizada pela presença de terrenos do Paleozóico que ocupam vastos setores alinhados segundo NW-SE e com idades compreendidas entre o Proterozóico Superior e/ou Câmbrico e o Carbonífero.

Uma vez que a área em estudo está localizada nesta zona geotectónica ela será detalhada a seguir.

#### **2.2.2.2.1. Proterozóico Superior e/ou Câmbrico**

O Proterozóico Superior e/ou Câmbrico é materializado na ZCI pelo Complexo Xisto-Graváquico (CXG), pertencente ao Grupo do Douro, estas formações afloram no núcleo do Anticlinal de Valongo (Unidade de Terramonte) e a SW do flanco inverso do Anticlinal de Valongo (Unidade de Montalto e Unidade de Alto do Sobrido) (Couto, 1993; Medeiros et al., 1980).

O CXG é uma formação metassedimentar, composta essencialmente por xistos e grauvaques, metamorfizados em diferentes graus durante o metamorfismo orogénico regional e posteriormente metamorfizados nas orlas de contacto com os granitos (Medeiros et al., 1980).

Na unidade de Terramonte, o CXG é constituído por sedimentos turbidíticos, dando origem a uma série do tipo flysch. Nas unidades de Montalto e Alto do Sobrido, o CXG constituído por xisto, grauvaques, arenitos, quartzitos e conglomerados (Couto, 1993).

#### **2.2.2.2.2. Ordovício**

O Ordovício assenta sobre o CXG em discordância angular provocado pela deformação sarda (Ribeiro et al., 1979), o Ordovício encontra-se materializado nos flancos do Anticlinal de Valongo, as rochas metassedimentares do Ordovício são definidas pelas formações de Santa Justa, Valongo e Sobrido (Couto, 1993), o topo do Ordovício é formado por detritos com possível origem glaciogénica e correspondem a uma brusca regressão que assinala a transição Ordovício-Silúrico.

A formação de Santa Justa é a formação que contacta com o CXG e é litologicamente formada por conglomerados, bancadas conglomeráticas, quartzitos, siltitos e argilitos. A formação apresenta uma orientação NW-SW com um ângulo de inclinação entre os 40°-70° NE e atingindo uma espessura de cerca de 200 m no Anticlinal de Valongo, entre a região de Valongo e Apúlia, é possível encontrar nesta formação uma grande variedade de icnofauna (Pereira, 1992).

A formação de Valongo é litologicamente formada por xistos argilosos concorrentes com os quartzitos da formação de Santa Justa, a transição entre esta formação e a anterior está marcada pela presença de metassiltitos centimétricos e xistos negros que atinge a espessura máxima de 80 m. Nesta formação está assinalada a presença de fósseis de graptólitos (Pereira, 1992).

A formação de Sobrido é dividida em dois membros, um inferior formado por quartzitos e um superior formado principalmente por grauvaques ou grés argilosos. Esta formação apresenta uma sequência diamictítica constituída por pelitos com fragmentos que materializam o topo da formação (Pereira, 1992).

#### **2.2.2.2.3. Silúrico**

Como acontece com o Ordovícico, o Silúrico ocorre em duas faixas de direção NW-SE, correspondente aos flancos do Anticlinal de Valongo, o contacto entre as formações do Devónico e Silúrico está marcada por uma descontinuidade, que em raras ocasiões apresenta níveis ferruginosos (Couto, 1993; Medeiros et al., 1980).

O Silúrico é formado por xistos negros que materializam o Silúrico inferior e por xistos carbonosos, xistos negros, grafitosos, líditos e ftanitos com a ocorrência de jazidas ricas em graptólitos do Llandoveryano médio-superior ou Lulldloviano. Os xistos carbonosos e líditos materializam a Formação de Xistos Carbonosos. Esta apresenta passagem a Quartzitos do Bougado (Couto, 1993).

#### **2.2.2.2.4. Devónico**

O Devónico apresenta a última deposição em condições de fácies marinhas no Anticlinal de Valongo integrando formações gresoso-pelíticas. O Devónico ocorre numa faixa estreita, de largura variável entre o Silúrico e o Carbonífero no flanco Oeste do

Anticlinal. O Devónico é constituído pela formação de Sobrado, materializado por quartzitos-conglomeráticos, pelitos, siltitos e grauvaques, e por xistos argilosos finos de cor amarela, amarela-arroxeadada e por vezes cinzentas, que apresentam fósseis de trilobites, braquiópodes e crinóides (Couto, 1993; Medeiros et al., 1980).

#### **2.2.2.5. Carbonífero**

O Carbonífero encontra-se depositado em bacias límnicas ao longo do flanco Oeste do Anticlinal de Valongo, o Carbonífero inicia-se por uma brecha de base, seguem-se os xistos fossilíferos, siltitos e arenitos. Ao longo da sequência ocorrem intercalações de conglomerados e de carvão, a deposição do Carbonífero dá-se em depósitos de vertente de bacia primitiva. O carbonífero é limitado a Oeste pelo Proterozoico Superior/Câmbrico em quase toda a sua extensão. Este contacto é materializado por um cavalgamento, exceto na zona terminal onde repousa sobre o granito na zona entre Souto e Cavadas. No limite Este, o Carbonífero assenta em discordância angular sobre os terrenos do CXG do Devónico e do Silúrico (Couto, 1993; Medeiros et al., 1980).

#### **2.2.2.3. Metamorfismo**

No NW da ZCI, as rochas metamórficas afloram principalmente na região compreendida entre o cisalhamento dúctil do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e o cisalhamento dúctil Vigo – Régua, embora também exista metamorfismo associado ao Anticlinal de Valongo, bem como metamorfismo fora de região entre os dois cisalhamentos, sendo assim é possível a definição de três domínios metamórficos (Pereira, 1992).

O Domínio do Anticlinal de Valongo é materializado por uma faixa que se estende de Fão para SSE até Aguiar de Sousa, é limitada a E por granito e a W pelo sulco Carbonífero Dúrico-Beirão. O metamorfismo presente nesta zona está associado à primeira fase de deformação, trata-se de um metamorfismo de baixo grau com recristalização baixa ou inexistente, o que levou à preservação das figuras sedimentares e dos diversos fósseis encontrados nesta região. As litologias predominantes pertencentes a este domínio apresentam granularidades detríticas de natureza pelítica e siltítica (Pereira, 1992).

O Domínio entre os cisalhamentos dúcteis do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e o de Vigo – Régua é formado por rochas com idades entre o Câmbrio e o Silúrio que se encontram instruídas por granitos, a recristalização é elevada e está associada à 3ª fase de deformação. As litologias mais frequentes neste domínio são xistos pelíticos, quartzo-feldspáticos e gnaisses. De forma geral, o grau de metamorfismo observado neste domínio varia entre o médio e o alto, mas nalgumas zonas esporádicas atinge um grau de metamorfismo muito alto e a geração de migmatitos (Pereira, 1992).

No Domínio exterior aos cisalhamentos dúcteis ocorrem abundantes massas graníticas, onde o grau de metamorfismo é alto a muito alto, atingindo-se em algumas zonas condições de ultrametamorfismo e fusão parcial dos metassedimentos (Pereira, 1992).

#### **2.2.2.4. Rochas Magmáticas**

A ZCI apresenta uma grande área ocupada por rochas de origem magmática, sendo estas rochas essencialmente rochas granitóides, limitando mesmo a NE e a SW o Anticlinal de Valongo, e por sua vez o distrito mineiro Dúrico-Beirão (Pereira, 1992).

A classificação das rochas granitóides na ZCI têm sido alvo de diversos estudos. Em termos geocronológicos, os granitóides são classificados em relação à 3ª fase de deformação Varisca (D3), classificando-se em sintectónicos (sin-D3), tarditectónicos (tardi-D3), tardi a pós-tectónicos (tardi a pós D3) e pós-tectónicos (pós-D3) (Ferreira et al., 1987). A nível petrográfico e geoquímico os granitos são divididos em dois grupos: os granitos de duas micas e os granitos biotíticos (Pereira, 1992).

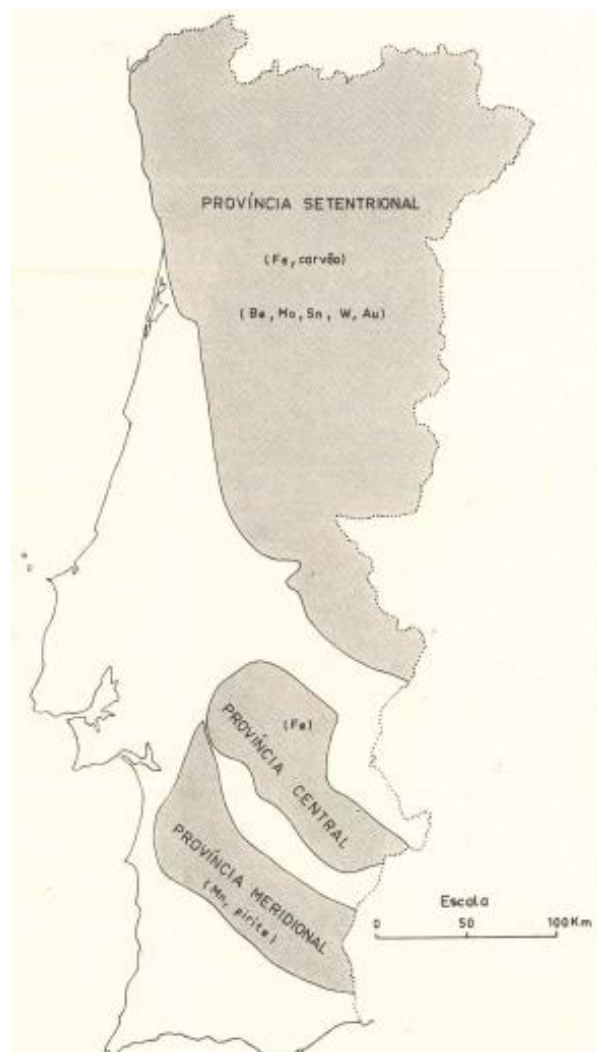
Os granitos de duas micas caracterizam-se por serem granitos leucocratas, com origem em magmas gerados a níveis médios e inferiores da crosta designados peraluminosos húmidos, sendo na sua maioria granitos sin a tardi D3. Os granitos biotíticos formaram-se a partir de magmas de fusão parcial de materiais a níveis profundos da crosta dando origem a granitóides calcoalcalinos, este tipo de granito está presente em todos os momentos da 3ª fase de deformação Varisca (Vieira, 2010).

### 2.2.3. Recursos Minerais

Na ZCI destacam-se as mineralizações de Estanho-Tungsténio, as várias mineralizações de ouro e mineralizações de urânio (Martins, 2012).

No distrito mineiro Dúrico–Beirão destacam-se as explorações de carvão, antimónio e ouro, volfrâmio, ferro bem como a de outros minerais não metálicos, tais como granitos e louseiras.

No entanto, a ZCI abrange uma grande parte de uma das mais importantes províncias metalogénicas de Portugal, sendo esta, a província Setentrional (Figura 5). Esta província caracteriza-se pela existência de duas séries de mineralizações, uma série de jazigos singenéticos e outra de jazigos de filiação granítica (Thadeu, 1965).



**Figura 5** - Províncias mineralógicas do Maciço Ibérico, ante-hercínicas e hercínicas (Thadeu, 1965).

Os jazigos sinegéticos que é possível encontrar na província setentrional são os jazigos de ferro, manganês e carvão, já os jazigos de filiação granítica são fundamentalmente dos seguintes tipos (Thadeu, 1965):

- Pegmatitos com columbo-tantalites;
- Pegmatitos com berilo;
- Pegmatitos com cassiterite;
- Filões quartzosos com cassiterite, volframite, shceelite e ocasionalmente molibdenite e
- Filões quartzosos com pirites auri-argentíferas.





## **As mineralizações de Au e Sb no Distrito Dúrico-Beirão**

---



## 3.As mineralizações de Au e Sb no Distrito Dúrico-Beirão

### 3.1.Ouro (Au)

O ouro é o 79º elemento na tabela periódica e fica localizado no 6º período e no grupo 11, enquadrando-se no grupo dos metais de transição (Tabela 1). O ouro pertence ao grupo dos metais nobres, devido à pouca afinidade demonstrada pelo ouro com elementos não metálicos tais como o oxigénio, e pertence ainda ao grupo dos metais preciosos devido à sua raridade, durabilidade, cor atrativa e maleabilidade (Amey & Buttermann, 2005; Moura et al., 2012).

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do Ouro.

Propriedades físico-químicas	
Número atómico	79
Configuração eletrónica	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup>
Peso atómico	196,96654
Ponto de fusão (°C)	1064,18
Densidade (kg m <sup>-3</sup> ) (26 °C)	19281
Estados de oxidação principais	5,4,3,2,1,-1
Isótopos principais	<sup>197</sup> Au, <sup>198</sup> Au

O ouro é um elemento extremamente raro na crosta terrestre, sendo o 70º elemento mais abundante, com uma concentração média de 0.0015 g/t. Ocorre maioritariamente sobre a forma de ouro nativo e sobre a forma de electrum, contudo na natureza são conhecidos cerca de 30 minerais contendo ouro (Tabela 2). Nestes minerais, o ouro encontra-se presente em diferentes proporções, sendo que também pode ser encontrado na rede cristalina de alguns minerais, tais como a pirite (Moura et al., 2012; Wedepohl, 1995)

Tabela 2 - Principais ocorrências de Ouro.

Mineral	Fórmula Química	% Au
Ouro nativo	Au	100
Electrum	Au-Ag	55-80
Maldonite	Au <sub>2</sub> Bi	65

A nível mundial cerca de 94 países exploram ouro, sendo os principais produtores a China, os EUA, a Austrália, a África do Sul e a Rússia (Amey et al., 2005; Moura et al., 2012).

Cerca de 75% dos depósitos de ouro encontrados ocorrem em quatro tipos de associações litológicas (Amey et al., 2005):

- Quartzitos – Conglomerados;
- Placers;
- Pórfiros cupríferos e
- Filões do Archeano.

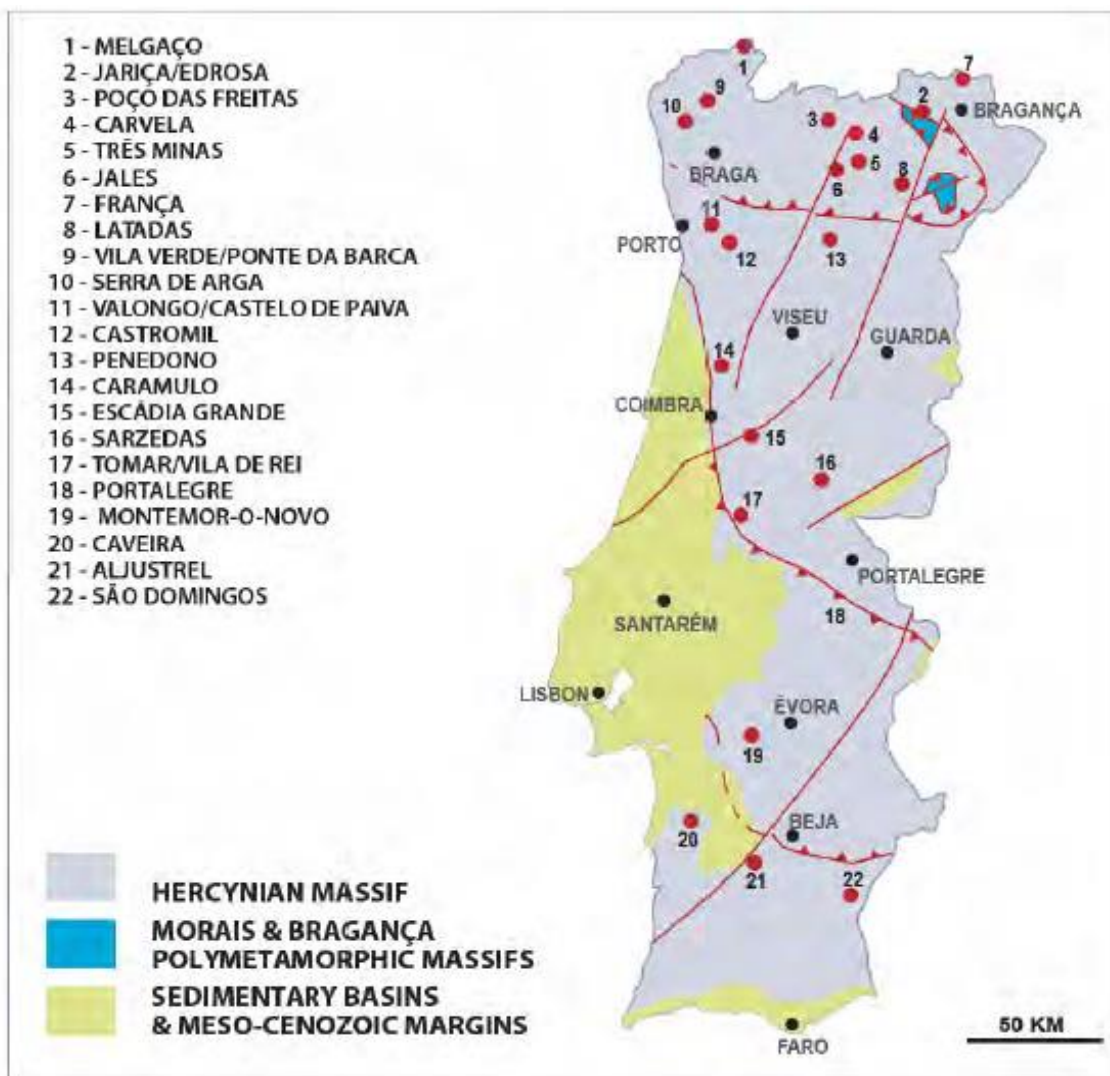
Segundo Christie & Brathwaite, 1997, os depósitos de ouro podem ser divididos em dois tipos: os depósitos primários ou hidrotermais e os depósitos secundários ou detríticos. Os depósitos hidrotermais formam-se quando existe a remobilização do ouro por fluídos hidrotermais e depositam-se sob a forma de diferentes tipos de depósitos:

- Epitermais (depósitos de Ag-Au de baixa profundidade (0 - 1,5 km), temperatura de 200 e 300 °C);
- Mesotermiais (depósitos de Au formados a profundidades de 3 – 12 km e temperatura de 200 – 400 °C);
- Depósitos associados a sedimentos carbonatados ou tipo *Carlin* (ouro disseminado em brechas silicificadas);
- Depósitos em brechas ígneas (ouro encontra-se depositado em filões de quartzo do tipo *stockwork*);
- Formações bandadas de ouro (ouro singenético em depósitos do tipo *stratabound*);
- Skarns (ouro ocorre em filões ou em lentículas tabulares estratiformes constituído por ouro, pirite, arsenopirite, calcopirite entre outros)
- Pórfiros cupríferos (ouro é subproduto)
- Depósitos IOCG (iron oxide copper-gold) ou depósitos de cobre e ouro associados a óxidos de ferro (depósitos formados em zonas de cisalhamento atravessadas por fluído hidrotermal magmático).

Os depósitos do tipo secundário ou detríticos formam-se quando grandes quantidades de sedimentos ricos em ouro se depositam em bacias sedimentares formando placers (Moura et al., 2012).

### 3.1.1. Ocorrências em Portugal

Em Portugal continental estão assinaladas várias ocorrências de ouro, sendo que a zona onde ocorrem em maior número é a zona Norte do país. As ocorrências de ouro estão na sua maioria associadas a rochas do maciço Hercínio e perto de zonas de falha (Figura 6) (Martins, 2012).



**Figura 6** - Principais ocorrências e depósitos de ouro em Portugal (Martins, 2012).

Algumas destas ocorrências são conhecidas desde a ocupação romana da península ibérica destacando-se Tresminas (5), Limarinho/ Poço das Freitas (3) e Jales (6) na Zona Galiza Trás-os-Montes, Castromil (12) e Escâdia Grande (15) na Zona Centro Ibérica e Caveira (20), Aljustrel (21) e S. Domingos (23) na Zona Sul Portuguesa. Para além destas ocorrências, os romanos também exploraram depósitos sedimentares como o depósito de Alva na zona de Arganil (Martins, 2012).

### 3.1.2. Aplicações

Certas características como o custo, a inércia química, a maleabilidade e a aparência determinam a aplicabilidade do ouro. Segundo as características referidas, o ouro pode ser utilizado para:

- Produto para a indústria e artes;
- Produto de investimento;
- Metal para cunhagem.

Quando se trata da aplicação do ouro na indústria e na arte, este é essencialmente utilizado na joalheria, sendo também utilizado em eletrónica, como cobertura de circuitos impressos, contactos e semicondutores, por se tratar de um excelente condutor elétrico, existindo ainda a possibilidade de fabricar superfícies com 1/10 de micra. Outra aplicação do ouro nesta área é em material dentário e para fins médicos, como também noutros usos industriais como decoração, medalhas, imitações de moedas, entre outros (Amey et al., 2005; Moura et al., 2012).

A maior percentagem de utilização do ouro é na joalheria e na decoração (cerca de 75 - 80 %), sendo também este o uso mais antigo do ouro. O ouro para este fim tem vindo a ser utilizado desde o Egipto (entre 2100 – 1700 a.C.), passando por Creta (1500 a.C.) e Etrúria (600 a.C) em que o ouro era utilizado na joalheria, relativamente à decoração o ouro é utilizado desde 3000 a.C. no Egipto (Amey et al., 2005; Moura et al., 2012).

O ouro tem vindo a ser utilizado como moeda desde o IV século a.C. pelos egípcios, nessa altura estes utilizavam barras de igual peso como meio de troca. As primeiras moedas de ouro foram encontradas na região E da Turquia e datam de 650 a.C. (Amey et al., 2005; Moura et al., 2012).

### 3.2. Antimónio (Sb)

O antimónio é o 51º elemento da tabela periódica e fica localizado no 5º período e no grupo 11, pertencendo, assim, ao grupo dos semimetais (Tabela 3). Na sua forma metálica, o antimónio apresenta uma cor prateada e brilhante, caracteriza-se também pela sua dureza, o que o torna não maleável e quando comparado a outros metais é um mau condutor de calor e eletricidade (Anderson, 2012; Buttermann & Carlin Jr., 2004).

**Tabela 3** - Principais propriedades físico-químicas do antimónio.

Propriedades físico-químicas	
Número atómico	51
Configuração eletrónica	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>
Peso atómico	121,75
Ponto de fusão (°C)	630,6
Densidade (kg m <sup>-3</sup> ) (26 °C)	6 692
Estados de oxidação principais	-3, 3, 5
Isótopos principais	<sup>121</sup> Sb, <sup>123</sup> Sb

O antimónio apresenta uma concentração média na crosta terrestre de cerca de 0.20 g/t (gramas por tonelada), o que o torna o 63º elemento mais abundante na crosta terrestre (Anderson, 2012; Buttermann et al., 2004; Moura et al., 2012; Wedepohl, 1995). São conhecidos mais de 200 minerais de antimónio, estes são na sua maioria sulfuretos, devendo-se ao facto do antimónio apresentar grande afinidade elétrica com o enxofre (Multani et al., 2016). Sob a forma de sulfuretos, o antimónio pode aparecer sozinho ou associado a outros elementos como o cobre, chumbo ou prata. O antimónio pode também aparecer na forma nativa associado a arsénio, bismuto e prata, embora estas ocorrências sejam raras ou sob a forma de óxidos (Buttermann et al., 2004).

**Tabela 4** - Alguns minerais de antimónio.

Mineral	Fórmula Química
Estibina	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Jamesonite	Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>
Valentinite	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Kermesite	Sb <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O
Tetrahedrite	Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>

A nível mundial existem cerca de 15 países produtores de antimónio, sendo principais produtores a China, a Bolívia, a África do Sul, o Tajiquistão e a Rússia (cerca de 95% da produção mundial) (Anderson, 2012).

Os depósitos de antimónio são formados a partir de soluções hidrotermais de baixa temperatura e que precipitam a baixas profundidades formando normalmente depósitos do tipo filoniano ou também sob a forma de massas irregulares de sulfuretos (Butterman et al., 2004; Moura et al., 2012). Os jazigos de antimónio podem ser divididos em dois tipos: depósito simples e depósito complexo, de acordo com a mineralogia encontrada no depósito. Os depósitos do tipo simples caracterizam-se pela predominância da estibina sobre os minerais ouro, pirite e outros sulfuretos, enquanto que no depósito do tipo complexo, o antimónio resulta como um subproduto de refinação resultante dos sulfuretos encontrados no depósito (Butterman et al., 2004; Moura et al., 2012).

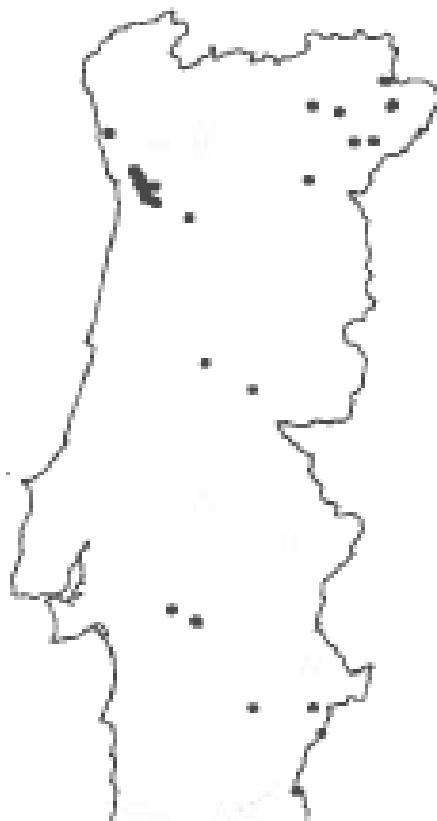
### **3.2.1. Ocorrências em Portugal**

Segundo Gumiel and Arribas (1987), na Península Ibérica estão identificados oito tipos de associações de antimónio:

1. Quartzo - Estibina;
2. Quartzo - Estibina - Ouro;
3. Carbonato - Quartzo - Estibina - Esfalerite - Ouro;
4. Carbonato - Quartzo - Estibina - Galena - Ouro;
5. Quartzo - Estibina - Esfalerite;
6. Quartzo - Estibina - Scheelite;
7. Quartzo - Estibina – Cinábrio e
8. Quartzo - Estibina - Cobre.

Sendo que em Portugal se encontra maioritariamente as associações do tipo (1) e (2) em filões onde, para além de quartzo e estibina, é também possível encontrar minerais de pirite, calcopirite, arsenopirite, limonite e ouro (Moura et al., 2012). Apesar das ocorrências de antimónio se registarem um pouco por todo o país (Figura 7), é no Norte de Portugal que se encontram as principais ocorrências de antimónio, mais concretamente nos concelhos de Valongo e Gondomar no distrito do Porto, mas também na região de Bragança.



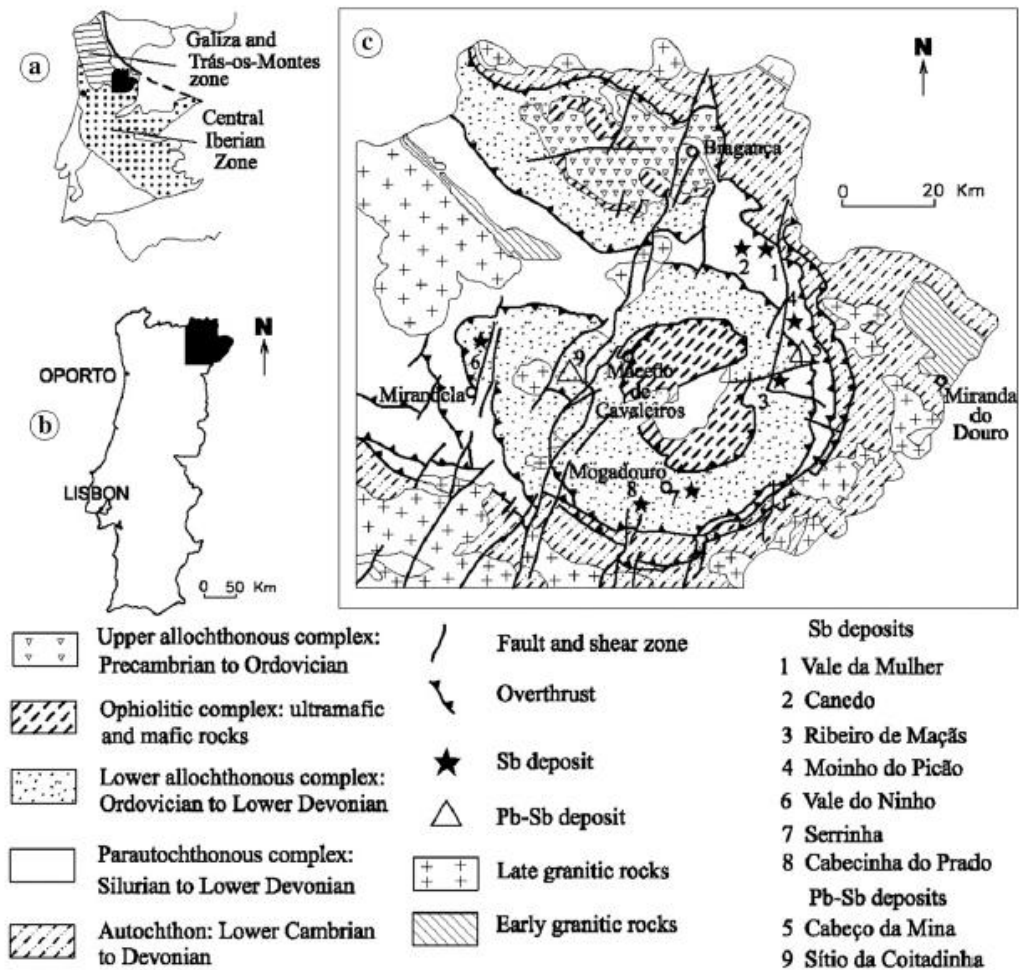


**Figura 7** - Principais ocorrências de antimónio em Portugal continental (Moura & Velho, 2012).

As mineralizações de antimónio ocorrem assim principalmente na Zona Centro Ibérica (ZCI) em rochas metassedimentares do Câmbrio e em afloramentos rochosos nos núcleos de anticlinais Variscos (Neiva et al., 2008).

Na região de Bragança (Figura 8), as mineralizações de antimónio encontram-se segundo uma estrutura lenticular com 1,3 m de possança e atingindo alguns casos os 200 m de comprimento. Apesar da maioria dos filões de antimónio estarem instalados na crusta alóctone inferior, as zonas com minério de antimónio encontram-se nas áreas em que os filões interseitam a camada de filitos do Silúrico (Neiva et al., 2008).

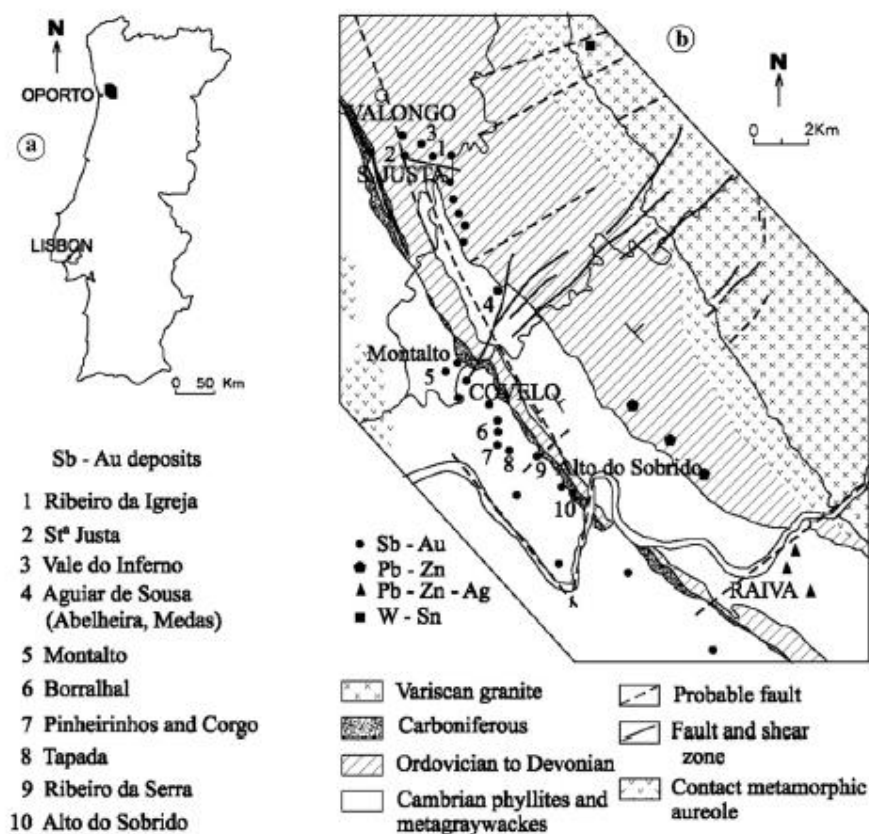
Os filões encontrados nesta zona são na sua maioria de Sb - quartzo, mas também de Pb – Sb – quartzo e caracterizam-se por terem uma estrutura brechificada contendo fragmentos de quartzo e filitos, em certos locais é constituída por metagrauvaques e quartzito, cimentados por agregados de quartzo. Nestes filões é também possível encontrar minerais de moscovite secundária, barite, ankerite e calcite (Neiva et al., 2008).



**Figura 8** - (a) ZGTM e ZCI do Maciço Ibérico e localização do distrito de Bragança e do distrito mineiro Dúrico-Beirão; (b) Localização da figura 6c em Portugal; (c) Mapa geológico simplificado do NE de Portugal (Adaptado do mapa geológico de Portugal dos Serviços Geológicos de Portugal (1992) in Neiva et al., 2008).

As mineralizações de antimónio descritas na região de Valongo e Gondomar (Figura 9), bem como outras mineralizações encontradas na região, estão relacionadas com as associações paragenéticas definidas para o distrito mineiro do Dúrico-Beirão. As mineralizações de antimónio no distrito mineiro do Dúrico-Beirão estão acompanhadas pela presença de ouro formando assim a associação paragenética Sb-Au.

As mineralizações de Sb-Au aparecem sob a forma de filões brechificados com 200 m de comprimento e uma possança que pode ir desde alguns centímetros até aos 3,6 m de largura. Tal como na região de Bragança, os filões mineralizados encontram-se instalados em metagrauwaques e filitos do Câmbrico, os filões apresentam uma direção aproximada NE-SW, ou seja, apresentam a direção regional do Anticlinal de Valongo (Neiva et al., 2008).



**Figura 9** - (a) Localização da Figura 7b no mapa de Portugal; (b) Mapa geológico de distrito mineiro Dúrico-Beirão (Adaptado de Couto (1993) in Neiva et al., 2008) .

### 3.2.2. Aplicações

O antimónio tem sido usado pelo Homem pelo menos desde à 5.000 anos, primeiro como pigmento amarelo (Estibina) pelos egípcios e pigmento preto (Antimoniato de Chumbo) pelo Caldeus. Mais tarde na idade média, o antimónio era usado na medicina como remédio para “expelir os maus humores” e ainda com a invenção da imprensa, o antimónio era também usado em conjunto com outros metais para formar a liga metálica usada nos caracteres tipográficos (Moura et al., 2012).

Atualmente, o antimónio é principalmente usado sob a forma de (Butterman et al., 2004):

- Trióxido de antimónio para retardante de fogo;
- Ligas de chumbo e antimónio usadas principalmente em baterias elétricas e como revestimento de cabos elétricos;
- Antimónio refinado usado em baterias de chumbo e ácido e
- Antimoniato de Sódio usado para a clarificação de vidros específicos.

### 3.3. Mineralizações no Distrito mineiro Dúrico-Beirão

Segundo Couto (1993), na área correspondente ao distrito mineiro Dúrico-Beirão é possível a identificação de quatro associações paragenéticas distintas: Sb-Au, Au-As, Pb-Zn(-Ag) e Sn-W.

Estas associações resultam de duas sequências paragenéticas distintas que ocorreram entre o Proterozóico Superior / Câmbrico até ao Carbonífero. De forma geral, a primeira sequência paragenética é tardi-hercínica, onde as associações paragenéticas Sb-Au e Au-As são dominantes e em que a associação paragenética Sn-W pode estar presente no primeiro estágio de formação da associação paragenética Au-As. Para a associação Sb-Au estão descritos quatro estádios e ainda mais um de remobilização. Quanto à associação Au-As esta é dominada por um primeiro estágio ferri-arsenífero estando os outros ausentes ou ocorrem de forma discreta. Já a segunda sequência paragenética é pós-hercínica e trata-se de um estágio de sobreposição da associação Pb-Zn (-Ag) e está relacionada com a abertura do Oceano Atlântico, nesta última associação salienta-se o facto que nem sempre é encontrada prata associada (Couto, 1993; Couto et al., 2000).

A nível espacial, as associações são encontradas em localizações diferentes (Figura 10), pois a associação Sb-Au encontra-se maioritariamente na zona a Norte do rio Douro e a na zona Oeste do Anticlinal de Valongo, enquanto que a associação Au-As se encontra essencialmente na zona Este do Anticlinal, já a associação Pb-Zn (-Ag) encontra-se especialmente na zona a Sul do rio Douro (Figura 10) (Couto, 1993; Couto & Borges, 2005).



### 3.3.1. Mineralizações de Sb-Au

Na associação Sb-Au, o antimónio é fortemente dominante e aparece sob a forma de estibina e berthierite. A estibina ocorre na forma de estibina primária ou na forma de estibina secundária resultante da alteração da berthierite. Na zona de Ribeira da Igreja é possível observar ainda um terceiro tipo de estibina precoce designada como estibina intersticial, já a berthierite ocorre subordinada à estibina (Couto, 1993; Couto et al., 1990).

Na paragénesese desta associação é possível a identificação de quatro estádios e mais um de remobilização (Figura 11). O primeiro estágio é caracterizado por ser ferri-arsenífero, pois o ferro presente vai decrescendo ao longo dos estádios, mas ainda está presente no quarto estágio na forma de berthierite. No segundo estágio, o cobre e o zinco são dominantes aparecendo sob a forma de Blenda e Calcopirite primária, já nos estádios seguintes aparecem sob a forma de tetraedite. O terceiro estágio caracteriza-se pela presença de chumbo e antimónio formando sulfossais como jamesonite, e é neste estágio que aparece pela primeira vez o ouro sob a forma de electrum. O quarto estágio é dominado pelo antimónio sob a forma de estibina (Couto, 1993; Couto et al., 2000; Couto et al., 1990).

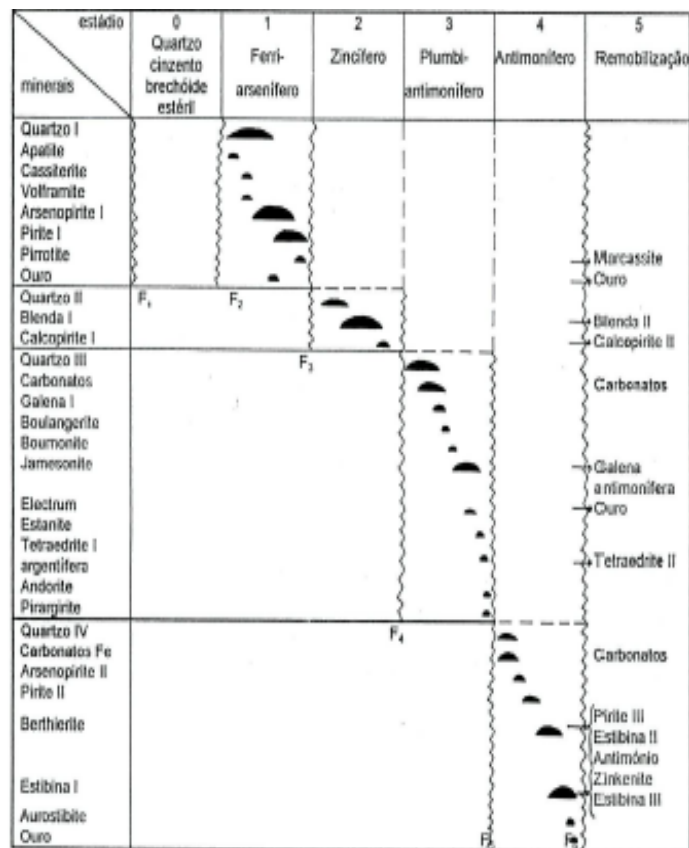


Figura 11 - Sucessão paragenética e evolução geoquímica das mineralizações de Ribeira da Igreja (Sb-Au) (Couto, 1993).

### 3.3.2. Controlos Litológicos e Estratigráficos das mineralizações

A localização de uma associação paragenética e o tipo de associação são definidos pelos processos geoquímicos, fonte de metais e pelos fatores geológicos que controlam a área, sendo assim as mineralizações no distrito Dúrico-Beirão respeitam dois tipos de controlos, um estrutural e outro litoestratigráfico (Couto, 1993).

A nível estrutural as mineralizações são controladas por dobras e pela influência da fraturação. As mineralizações ocorrem preferencialmente nas zonas em que a estratificação é sub-horizontal e os filões encontram-se em fraturas transversais e radiais, estas fraturas foram geradas durante a fase de deformação ante-Estefaniana e que mais tarde foram reativadas na fase pós-Estefaniana tendo-se instalado principalmente filões de Sb-Au e Au-As. As mineralizações de Sb-Au são controladas estruturalmente por fraturas relacionadas com o dobramento do Anticlinal e pela zona de cisalhamento do Douro, os filões ocupam principalmente fraturas de direção (E)NE-(W)SW e E-W, direção transversal ao Anticlinal de Valongo e ao Sinclinal Carbonífero. Quanto às mineralizações de W-Sn estas ocorrem principalmente em filões com direção N-S. No que diz respeito às mineralizações de Pb-Zn(-Ag) estas são tardias em relação às mineralizações já referidas e a sua instalação é controlada pelas mesmas fraturas anteriormente preenchidas pelos fluídos com Sb-Au que foram remobilizados após a orogenia hercínica (Couto, 1993).

A nível litoestratigráfico as mineralizações localizam-se preferencialmente em zonas caracterizadas por alternâncias de rochas com diferentes competências do Proterozóico Superior ou Câmbrico e rochas do Ordovícico Inferior, sendo ainda que em alguns casos as mineralizações encontram-se associadas a uma rocha específica. As mineralizações de Sb-Au e Pb-Zn(-Ag) ocorrem em formações do Proterozóico Superior ou Câmbrico, as mineralizações de Sb-Au são encontradas em alternâncias de pelitos, vaques e arenitos quártzicos e também em conglomerados com percentagem de matriz variável e intercalações de pelitos, onde em alguns casos é possível identificar vulcanismo ácido (Unidade de Montalto) e intercalações de diábases, Silva (2016) concluiu que existe uma relação espacial entre as minas de antimónio e antimónio-ouro e os filões básicos. Já as mineralizações de Pb-Zn(-Ag) não apresentam um controlo litoestratigráfico evidente, pois ocorrem um pouco por toda a unidade de Terramonte apresentando apenas um controlo mecânico, embora na área onde se localiza esta associação existem indícios de uma fonte vulcânica materializada pela presença de epiclastitos, abundância de plagioclase, entre outros. As mineralizações de Au-As, bem

como alguns jazigos de Sb-Au (Ribeira da Igreja e Vale do Inferno) ocorrem em alternâncias do Ordovício inferior, onde se encontram assinalados níveis vulcano-sedimentares com anomalias de ouro e antimónio (Couto, 1993).

Há ainda a ter em conta que algumas destas rochas apresentam pré-concentração de alguns metais no Proterozóico superior ou Câmbrio. Os conglomerados da Unidade de Montalto apresentam uma pré-concentração em Sb, enquanto que os níveis vulcano-sedimentares do Ordovícico apresentam uma pré-concentração em Au e Sb. As brechas de base do Carbonífero, apresentam teores elevados de Au, Sb e Pb (Couto, 1993).



## Metodologia

---



## 4. Metodologia

### 4.1. Amostragem

A amostragem é um processo científico aplicado a uma grande massa (população) em que apenas uma pequena percentagem desta é recolhida para ser analisada (amostra) (Carter, 1993; Evans & Barrett, 1995). O objetivo de uma amostragem é a obtenção de informação acerca de uma área em particular, para fins não só geológicos como ambientais e agrícolas (Carter, 1993; Dinkins & Jones, 2008). Para que os resultados da amostragem sejam representativos da população onde foram recolhidas, as amostras têm de refletir as características da população dentro de limites aceitáveis de precisão e rigor, o tamanho e o peso da amostra devem ter em consideração a homogeneidade ou heterogeneidade da população, ou seja, a correta amostragem de uma população deve garantir que cada constituinte tem igual probabilidade de ser selecionado, sendo assim garantida a variabilidade da amostragem. Essencialmente a amostragem consiste em três passos: extração da amostra *in situ*, preparação da amostra para análise e análise química da amostra em laboratório (Evans et al., 1995).

Antes de se proceder à recolha de amostras é necessária a recolha de informação sobre o local de amostragem, recorrendo assim a estudos prévios da zona bem como à cartografia existente para o local, a recolha de informação útil para o planeamento da recolha das amostras e na preparação do que será a campanha de amostragem. Na preparação de uma campanha de amostragem é necessário ter em conta fatores como por exemplo (Evans et al., 1995):

- Objetivo da amostragem - Qualitativa (aférir acerca da presença ou ausência de um certo elemento químico e/ou mineral) ou quantitativa (ensaio estatístico para determinar a quantidade relativa de um elemento químico e/ou mineral);
- Possibilidade de visitar o lugar;
- Tempo necessário para a realização da amostragem;
- Técnica de amostragem adaptada;
- Método de recolha escolhido e
- Orçamento para a campanha.

A recolha de uma amostra pode ser feita essencialmente recorrendo a três métodos: aleatória, sistemática ou estratificada (Figura 12). O método de recolha aleatória é o mais simples dos três e consiste na recolha de uma amostra aleatória sem considerar a variação da população, já a recolha sistemática consiste na recolha de amostras de lugares previamente escolhidos e de forma repetitiva, por exemplo a recolha de amostras pode ser feita em intervalos de 5 m, este método oferece resultados com bastante precisão, pois as amostras estão distribuídas de forma uniforme pelo local de amostragem. O método de recolha estratificada é normalmente utilizado em zonas com grande heterogeneidade e tem como objetivo a separação dos vários componentes, de forma a obter uma amostra mais homogénea (Tan, 2005).

A interpretação dos resultados de uma campanha de amostragem deve ter em conta um conjunto de fatores que pode alterar a precisão e o rigor dos resultados estando esses fatores relacionados com:

- Insuficiência de pontos de amostragem;
- Amostragem tendenciosa e não representativa;
- Suspeitas erradas na distribuição dos valores das amostras;
- Pobre variabilidade da amostra;
- Pobre variabilidade do depósito e
- Má interpretação dos resultados ou ensaios incorretos.

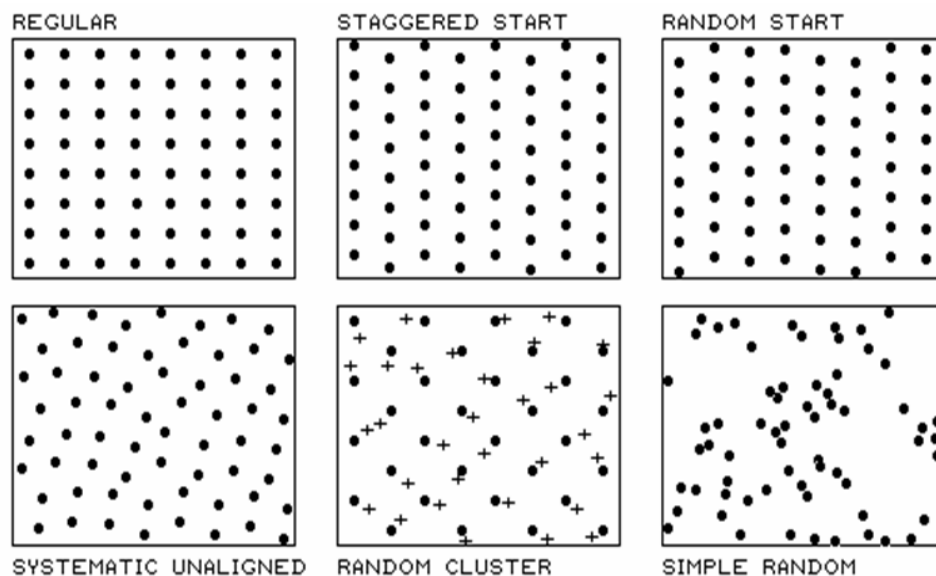


Figura 12 - Exemplos de metodologias de amostragem (Berry, 2007).

As amostras recolhidas são levadas para laboratório para serem analisadas e, de acordo com o tipo de amostra e do tipo de análise a proceder, as amostras são preparadas recorrendo a diferentes métodos, no caso de a amostra ser submetida a uma análise química esta deve ser reduzida à granulometria específica dos ensaios à qual vai ser submetida (Evans et al., 1995).

Após a análise estar completa, os resultados são utilizados para fins de cálculo de reservas, determinação da presença de um elemento e/ou mineral, entre outros. Para isso, é usada estatística clássica e métodos de geoestatística (Evans et al., 1995).

#### **4.1.1. Métodos de extração da amostra**

A recolha de uma amostra pode ser feita de várias formas e recorrendo a diferentes utensílios, e a escolha do método para a recolha da amostra deve ter em conta o tipo de amostra, a qualidade da amostra, o grau de precisão da amostragem e o tipo de análise a que a amostra vai ser sujeita. Os métodos de amostragem podem ser (Evans et al., 1995; Reedman, 2012):

- Amostragem em canal - é realizada utilizando um martelo e cisel ou uma serra circular e é recolhida uma amostra rochosa de forma paralelepípeda, tendo como vantagem ser um método preciso na delimitação da amostra, amostrando assim apenas o local de interesse com pouco ou nenhuma contribuição do meio envolvente, a sua principal desvantagem é ser um método caro de amostragem;
- Amostragem do tipo *Grab* (Figura 13) - consiste na recolha de uma amostra desintegrada (rocha muito alterada ou solo), ou de uma amostra de rocha solta, trata-se de um método rápido e de baixo custo e é útil como meio de controlo de mineralizações, a amostragem é feita recorrendo a pás, dragas (quando a recolha é submarina) e trados e tem como desvantagem ser um método que apresenta resultados com pouca precisão e pouco significado interpretativo quando feita de maneira pontual;
- Amostragem do tipo *Chip* - consiste na recolha de uma amostra de uma superfície rochosa usando um martelo, este método é essencialmente útil numa primeira fase de amostragem, pois trata-se de um bom método para localizar zonas de interesse e/ou potencial mineiro.
- Amostragem composta - é a combinação de duas ou mais amostras;

- Amostragem do tipo *Bulk* - consiste na recolha de uma grande quantidade de amostra para testes metalúrgicos e determinação da composição mineralógica da região amostrada;
- Amostragem por Sondagem - as amostras são retiradas do carote de sondagem, sendo partes ou a totalidade do carote, dependendo do tipo de análise a que a amostragem vai ser sujeita, e do tipo de sondagem utilizada;
- Amostragem do tipo *Groove* - semelhante à amostra em canal, consiste no corte de um pequeno sulco na rocha e
- Amostragem do tipo *Panel* - este tipo de amostragem é utilizado em zonas onde não estão definidos os limites da mineralização, e são maioritariamente retiradas de superfícies lisas como taludes, paredes de poços e trincheiras de prospeção.



Figura 13 - Método de amostragem do tipo Grab.

## 4.2. Petrologia

A petrologia é a ciência que estuda os modos de ocorrência, origem, história e relações com processos geológicos das rochas. A petrologia é dividida em dois ramos, a petrografia e a petrogénese. A petrografia estuda as rochas como espécies de forma descritiva do ponto de vista textural, químico e mineralógico, já a petrogénese estuda a origem das rochas. O objeto de estudo da petrologia é a rocha em amostra de mão e ao microscópio (Grout, 1932; Tyrrell, 2012).

A identificação de uma rocha é feita através de critérios estruturais, texturais e mineralógicos, para que a identificação da rocha seja possível é necessária a identificação e a descrição da amostra em termos de propriedades mineralógicas e cristalográficas (dureza, cor, brilho, forma do cristal, clivagem, *etc.*), propriedades químicas (através de análises químicas qualitativas e quantitativas, *etc.*) e óticas (relevo, birrefringência, cor, anisotropia, *etc.*) (Grout, 1932; Nesse & Schultze, 2004; Winchell & Winchell, 1937).

O microscópio é de uma maneira geral um conjunto de lentes dispostas de forma a produzir uma imagem ampliada de um objeto. As lentes são objetos transparentes, homogêneos e isotrópicos feitos de vidro que apresentam um ou ambos os lados curvos. No microscópio petrográfico existem vários conjuntos de lentes, por baixo da platina temos o polarizador inferior, diafragma e condensador e por cima da platina temos as objetivas, onde ocorre a ampliação da imagem, o polarizador superior, as lentes de *Bertrand* e as oculares. A observação de um objeto ao microscópio é feita quando um feixe de luz atravessa (luz transmitida) ou reflete (luz refletida) no objeto, a fonte da luz do microscópio pode ser externa, utilizando um espelho para refletir a luz do sol ou de uma lâmpada, ou interna. Outro conjunto importante é o mecanismo de focagem responsável por fazer subir e descer a platina, este mecanismo é constituído por dois parafusos que fazem movimentar a platina em diferentes intervalos.

#### 4.2.1. Preparação das amostras

Para que se possa proceder à análise petrográfica de uma rocha, esta tem primeiro de ser sujeita a um processo de montagem em lâmina. A montagem de uma lâmina pode ser feita de diferentes formas, sob a forma de montagens de grãos, lâmina delgada ou polida (Figura 14A) e secção polida (Figura 14B) (Nesse et al., 2004).

A montagem de grãos consiste na aglomeração de pequenos grãos de minerais (0,105 – 0,074 mm) numa lâmina, que são emergidos em óleos e posteriormente observados em microscopia com luz transmitida (Nesse et al., 2004).

As lâminas delgadas e polidas (Figura 14A) consistem em pedaços de rocha que previamente foram coladas a uma lâmina e, em seguida, desgastadas até a uma espessura de 0,03 mm. No caso das lâminas delgadas estas são usadas em estudos mineralógicos e texturais e são observadas através de luz transmitida, já as lâminas polidas servem para a observação dos minerais opacos e são observadas utilizando tanto luz transmitida como luz refletida, visto após o desgaste serem sujeitas a um polimento idêntico ao das secções polidas (Nesse et al., 2004).

As secções polidas (Figura 14B) tratam-se de amostras de rocha em que uma superfície lisa é polida até apresentar uma superfície espelhada, estando normalmente a amostra montada num bloco cilíndrico (Nesse et al., 2004).

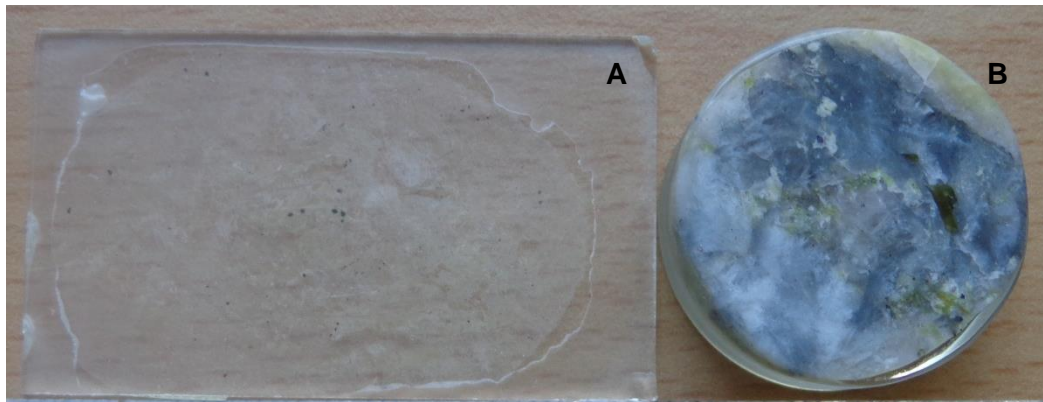
A preparação de uma lâmina delgada/polida começa com o corte da amostra para a obtenção de tacos com dimensões aproximadas de 47x25x30 mm, em seguida e quando necessária, é feita a impregnação da amostra para evitar o desprendimento de partículas e, para que a amostra se mantenha intacta durante o processo de desgaste. A amostra é então colada a uma lâmina, de seguida a rocha é serrada ao máximo até se obter a espessura mínima possível, depois de serrada a amostra é desgastada numa lixa giratória e/ou manual utilizando abrasivos adiamantados até atingir uma espessura de 30 micra. Após este processo a lâmina delgada é lavada e encontra-se pronta para observação, no caso das lâminas polidas quando acaba a fase de desgaste estas são sujeitas a um processo de polimento idêntico ao das secções polidas (Palermo, 2009).

A montagem de um bloco para as secções polidas é feita colocando um pedaço da amostra num molde. Este molde é preenchido por resina pré-aquecida, após o bloco ser seco, e se necessário, cortado para garantir uma superfície plana e ainda garante



que as duas faces do bloco são paralelas. Por fim a face do bloco que contém a amostra rochosa é sujeita a polimento (Hasparyk et al., 2005).

O polimento de lâminas polidas como o de secções polidas é feito numa lixa giratória com discos de plástico cobertos por pano de polimento. O polimento é feito fazendo passar as amostras por discos sucessivos cada um com uma pasta adiamantada com granulometrias específicas (6,3,1 e 0.25 micra), após o polimento as amostras são limpas com ultrassom (Palermo, 2009).



**Figura 14** – A: Exemplo de lâmina Delgada/Polida; B: Exemplo de uma secção polida.

### 4.3. Microscopia Eletrónica de Varrimento

Um microscópio ótico consegue ampliar uma imagem até de 2 000 vezes, para aumentar desta forma a resolução de uma ampliação é necessária uma fonte de iluminação de um objeto diferente, um microscópio eletrónico de varrimento (MEV) utiliza um feixe de eletrões em vez de fotões (luz visível) (Figura 15) permitindo assim uma ampliação até 300 000 vezes (Dedavid et al., 2007).

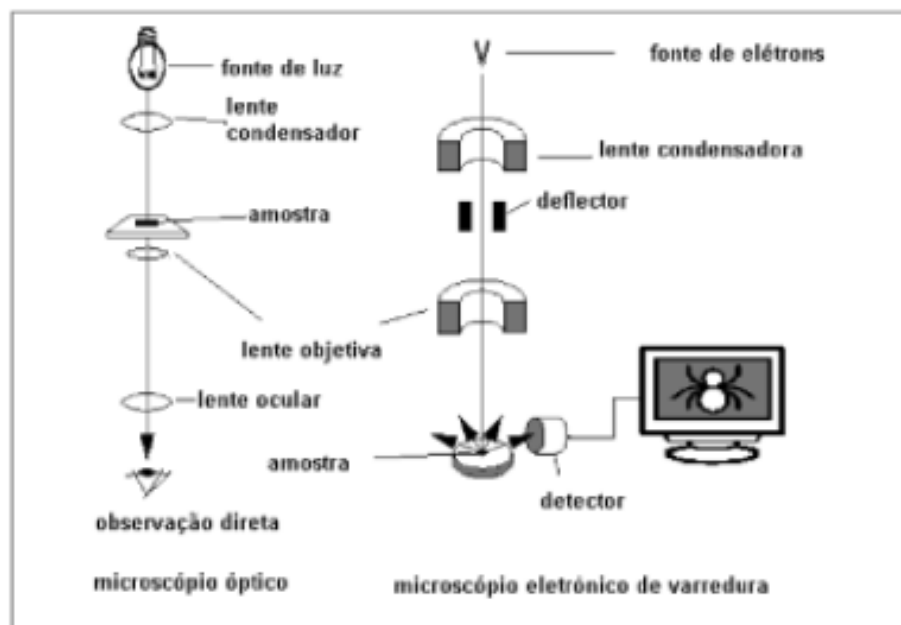


Figura 15 – Esquema de comparação entre microscópio ótico e MEV (Dedavid et al., 2007).

O MEV é útil para fornecer informações sobre a morfologia e a identificação de elementos químicos numa amostra sólida. No que toca à obtenção da imagem, o MEV capta vários sinais emitidos, os mais utilizados são os eletrões secundários e retrodifundidos, devido ao facto de estes variarem conforme a topografia da superfície durante o varrimento. Os eletrões secundários resultam da interação do feixe com o material da amostra, estes eletrões são de baixa energia e formam imagens de alta resolução, relativamente aos eletrões retrodifundidos estes têm uma energia superior a 50 eV, estes resultam da colisão elástica dos eletrões nas camadas mais superficiais da amostra (Dedavid et al., 2007; Goldstein et al., 2012).

O MEV é um dos equipamentos de observação e análise de características de materiais sólidos mais versátil Knoll, em 1935 foi um dos primeiros autores reconhecidos a descrever o conceito do MEV, já o primeiro MEV foi construído em 1942 por Zworykin e seus colaboradores (Goldstein et al., 2012).

## Resultados

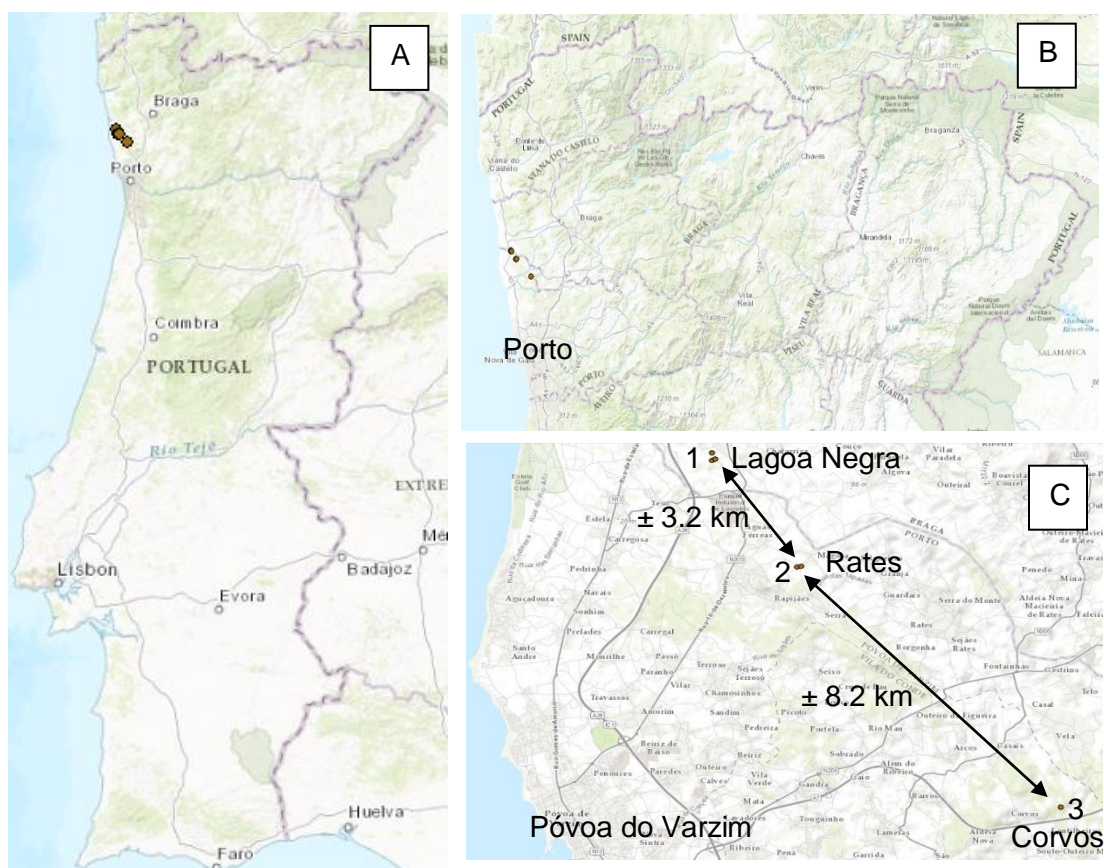
---



## 5. Resultados

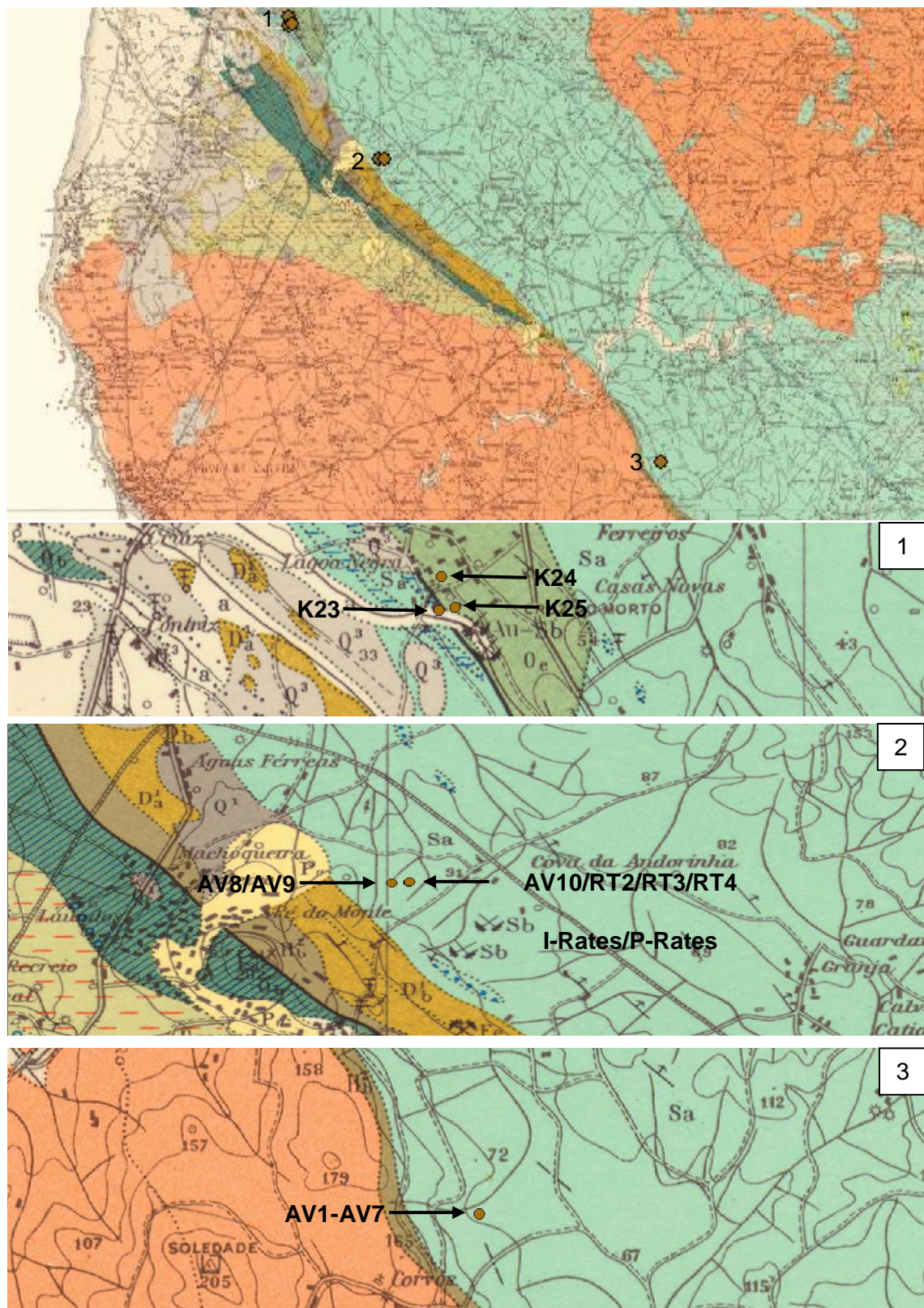
### 5.1. Amostragem

Perto da aldeia de Corvos foram recolhidas sete amostras (AV1 – AV7), visto a região estar dividida em zonas agrícolas e zonas densamente arborizadas não foi possível efetuar a identificação de afloramentos, o que levou a que apenas uma amostra (AV1) fosse recolhida *in situ*, as restantes seis amostras eram de rochas soltas provenientes dos muros que delimitavam os terrenos e recolhidas de forma aleatória. Na zona de Rates foram recolhidas mais três amostras (AV8 – AV10). Além disso, foram ainda estudadas mais três lâminas delgadas e duas superfícies polidas provenientes de amostras recolhidas na região de Rates (RT2/RT3/RT4/I-Rates/P-Rates), estas amostras foram recolhidas em alturas diferentes, quanto aos resultados das análises químicas foram comparadas com as amostras referidas e com resultados de amostras de Lagoa Negra (K23/24/25) (Anexo IV) (Figura 16/17).



**Figura 16** – A: Localização do local de amostragem no mapa de Portugal (1:4 000 000); B: Localização do local de amostragem em relação à cidade do Porto (1:1 000 000); C: Relação espacial entre os locais de amostragem (1:65 000).





**Figura 17** - Localização da amostragem na Carta Geológica 9-A (Póvoa do Varzim) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, legenda Anexo I.

### 5.1.1. Amostras

A amostra AV1 (Figura 18A) foi recolhida *in situ* num pequeno talude no limite de um campo agrícola. Nesta amostra é possível observar pequenos filonetes de quartzo e evidências de dissolução (Figura 18B), a amostra foi recolhida em terrenos do Silúrico e a xistosidade apresenta uma atitude de N 130° - 70° SW.



**Figura 18** – A: Amostra AV1; B: Aspeto de dissolução e dos filonetes.

A amostra AV2 (Figura 19) foi recolhida no muro que delimita um campo agrícola. Esta amostra foi recolhida porque à vista desarmada mostrava indícios de sulfuretos e na primeira avaliação esta foi classificada como um quartzo filoniano, de natureza hidrotermal.



**Figura 19** - Amostra AV2 – Quartzo filoniano com sulfuretos.



A amostra AV3 (Figura 20) também foi recolhida de um muro a pouca distância da anterior. Trata-se de uma amostra de granito tectonizado, onde se observam evidências de alteração, nomeadamente marcas de dissolução e também a presença de sulfuretos.



**Figura 20** - Amostra AV3 – Granito alterado com sulfuretos.

A amostras AV4 (Figura 21) foi também recolhida de um muro e trata-se de um granito tectonizado com alteração e dissolução. A amostra é dominada pela presença de cristais de quartzo com diferentes dimensões e com alguns óxidos de ferro associados. Observam-se encraves de xisto na amostra, o que pode evidenciar tratar-se de uma brecha de contacto entre o granito de Santo André e os xistos do Silúrico no encaixante.



**Figura 21** - Amostra AV4 – Granito tectonizado com encraves de xisto.



Na amostra AV5 (Figura 22), também recolhida de um muro, foi identificada a presença de óxidos ou hidróxidos de ferro. A referida amostra de xisto do encaixante metassedimentar foi enviada para análises químicas.



**Figura 22** - Amostra AV5 – Rocha metassedimentar rica em óxidos de ferro.

A amostra AV6 (Figura 23) foi retirada de muro e trata-se de uma amostra de xisto, possivelmente do Silúrico encaixante. Trata-se de uma amostra de filito com foliação dobrada, correspondente a um metamorfismo de baixo grau facies dos xistos verdes.



**Figura 23** - Amostra AV6 – Filito com foliação dobrada.

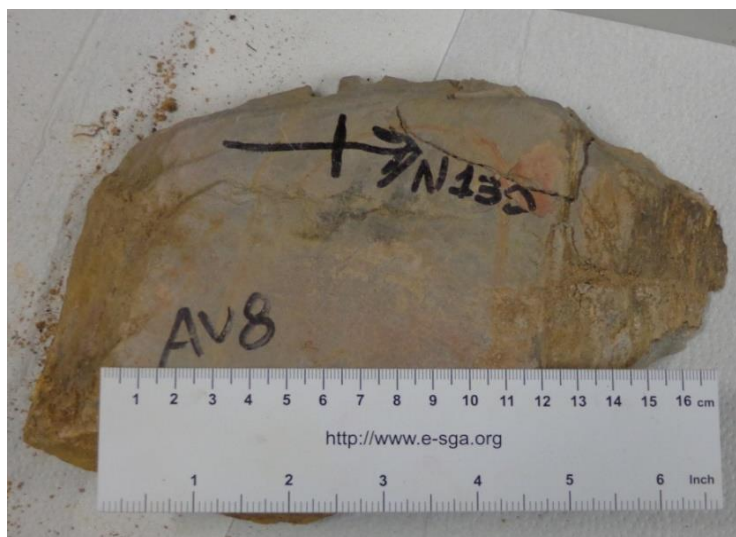
A amostra AV7 (Figura 24) foi a última recolhida perto da aldeia de Corvos. Trata-se de uma amostra de granito, onde é possível observar superfícies de fraturas com estrias de movimento.



**Figura 24** - Amostra AV7 – Granito com plano de fratura com estrias de movimento.

Para as amostras AV1-AV7 foi apenas registado um ponto GPS, mas todas as amostras foram recolhidas num raio de 150 m do ponto GPS que corresponde ao local onde foi recolhida a amostra AV1.

As amostras seguintes foram recolhidas na região de Rates, a amostra AV8 (Figura 25) foi recolhida num pequeno afloramento no chão de uma estrada de terra batida. Trata-se de um xisto com intercalações de ftnitos, com foliação visível. A amostra foi orientada sobre o plano foliação, N130° - Vertical.



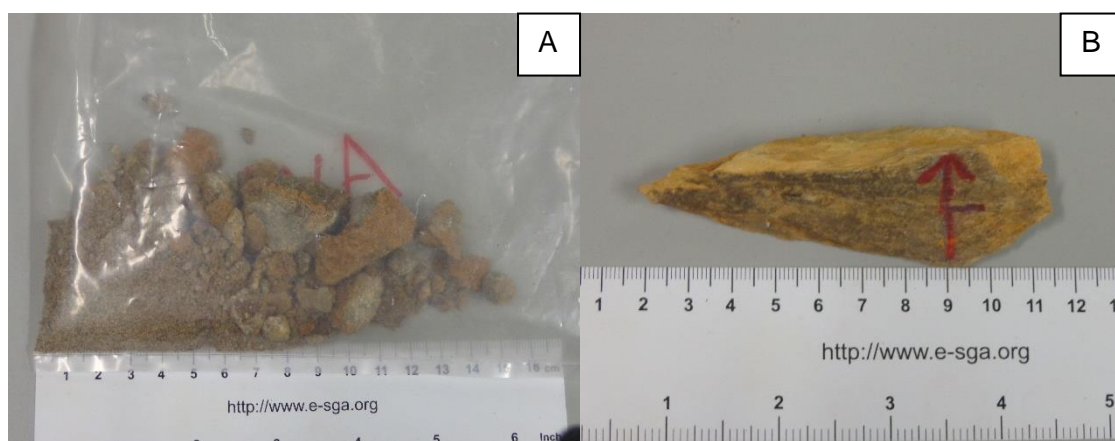
**Figura 25** - Amostra AV8 – Filito com intercalações de ftnito.

A amostra AV9 (Figura 26) foi recolhida numa antiga escombreira das minas de antimónio. Trata-se de uma amostra de quartzo com aspeto de dissolução e pequenos veios de material escuro possivelmente material mineralizado (sulfuretos de antimónio).



**Figura 26** - Amostra AV9 – Quartzo de escombreira.

A amostra AV10 (Figura 27) foi recolhida dentro de uma antiga mina de antimónio sobre uma estrutura tectonizada de atitude  $N145^{\circ} - 70^{\circ} SE$  e uma possança de 5 a 7 cm. O material recolhido apresenta-se muito desagregado e com elevado grau de alteração (Figura 27A). A estrutura tectonizada está materializada nos xistos cinzento-amarelados do Silúrico. Nestes xistos adjacentes foi recolhida a amostra AV10B orientada sobre o plano de foliação:  $N185^{\circ} - 80^{\circ}-85^{\circ} SE$  (Figura 27B).



**Figura 27** – A: Amostra AV10A recolhida na zona mineralizada sobre a estrutura tectonizada; B: Amostra AV10B – xisto cinzento adjacente à estrutura.

## 5.2. Análises Químicas

As amostras recolhidas foram então selecionadas e enviadas para laboratório. As amostras selecionadas foram AV1, AV2, AV3, AV5, AV9 e AV10. A amostra AV1 foi selecionada por ser a única amostra *in situ* na região de Corvos, por apresentar vestígios de dissolução e ainda pela presença dos filonetes de quartzo. A amostra AV2 foi selecionada pela possível presença de sulfuretos, já a amostra AV3 foi uma das selecionadas para determinar a presença ou ausência de ouro na rocha granítica, a amostra AV5 foi selecionada pela presença de ferro, já a amostra AV9 foi selecionada por ter sido recolhida na escombreira de uma antiga mina de antimónio e por último a amostra AV10 foi selecionada por ter sido recolhida da mina em si.

No laboratório, em primeiro lugar, a amostra foi catalogada usando um sistema de código de barras, sendo depois pesada, em seguida a amostra foi esmagada até que cerca de 70% de cada amostra passasse pelo o peneiro de 2 mm. Uma parte de certas amostras foi recolhida aleatoriamente e sujeita a teste de controlo de qualidade e finalmente as amostras foram pulverizadas até se atingir um diâmetro de partículas na ordem das 75 micras e novamente sujeitas a controlo de qualidade, estando assim prontas para a análise química. A análise química das amostras foi realizada recorrendo a dois métodos: método analítico Au-AA25 e o método ME-ICPORE. Para a determinação da quantidade de ouro foi utilizado o método analítico Au-AA25, que se trata de um método de espectrometria de absorção atómica (Anexo II), já para os restantes elementos metálicos foi utilizado o método ME-ICPORE, que consiste num método de espectrometria de emissão atómica (Anexo III).

Os resultados das análises químicas estão apresentados no anexo IV. Na tabela 5 é possível observar os valores de ouro (Au), prata (Ag), arsénio (As), antimónio (Sb) e ferro (Fe) para cada uma das amostras.

**Tabela 5** - Resultado da análise química dos elementos mais significativos estudados.

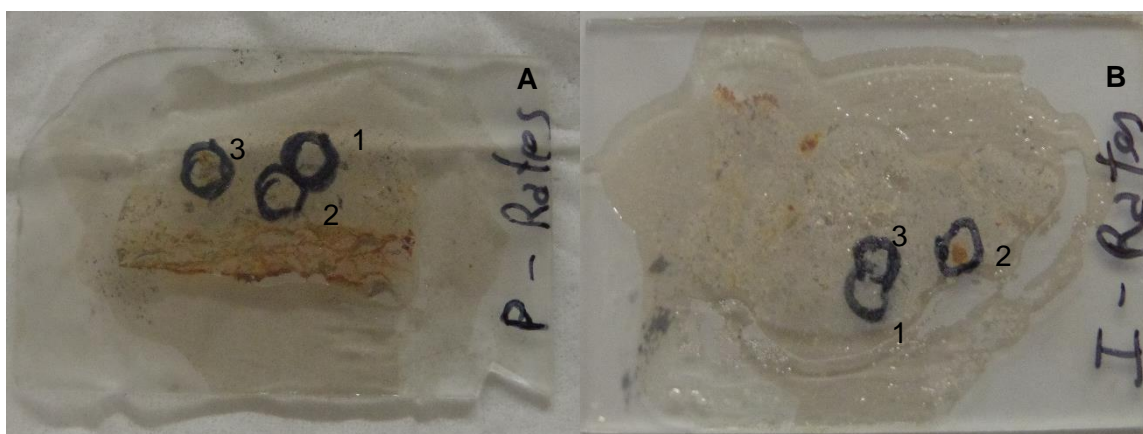
Amostra	Localidade	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (%)	Sb (%)	Fe (%)
AV1	Corvos	<0,01	<1	<0,005	<0,005	2,96
AV2		0,23	<1	0,47	0,018	1,73
AV3		0,02	<1	<0,005	0,016	1
AV5		<0,01	<1	0,005	0,012	12,95
AV9	Rates	0,04	<1	<0,005	<0,005	1,36
AV10		41,3	<1	0,098	9,760	2,72



### 5.3. Análise Petrográfica

As amostras foram observadas ao microscópio para determinação da sua mineralogia básica e relação entre os minerais, se possível a identificação e deteção de ouro visível e a identificação do tipo de paragénese (neste caso Sb-Au) e consequente identificação dos minerais de Sb e a sua relação com os restantes minerais na amostra e sempre que possível com os minerais de Au.

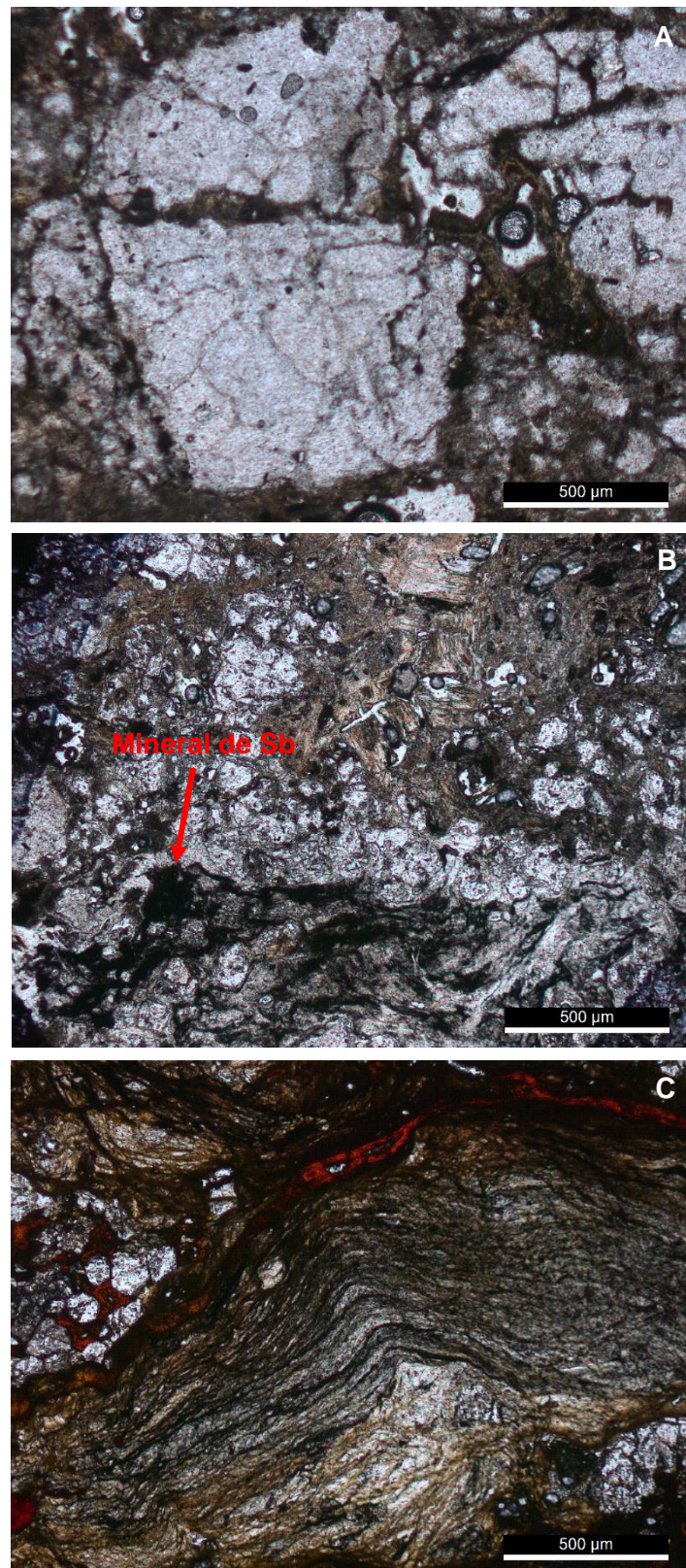
As primeiras lâminas observadas foram as de amostras recolhidas na zona de Rates (mesmo local que RT2/3/4 e AV10), visto não estarem numeradas e para efeitos de distinção, foi atribuída a designação de P-Rates (partida) (Figura 28A) e I-Rates (intacta) (Figura 28B). Ambas as lâminas foram recolhidas da mesma estrutura mineralizada, sendo a composição de ambas semelhante.



**Figura 28** – A: Lâmina Polida I-Rates; B: Lâmina Polida P-Rates.

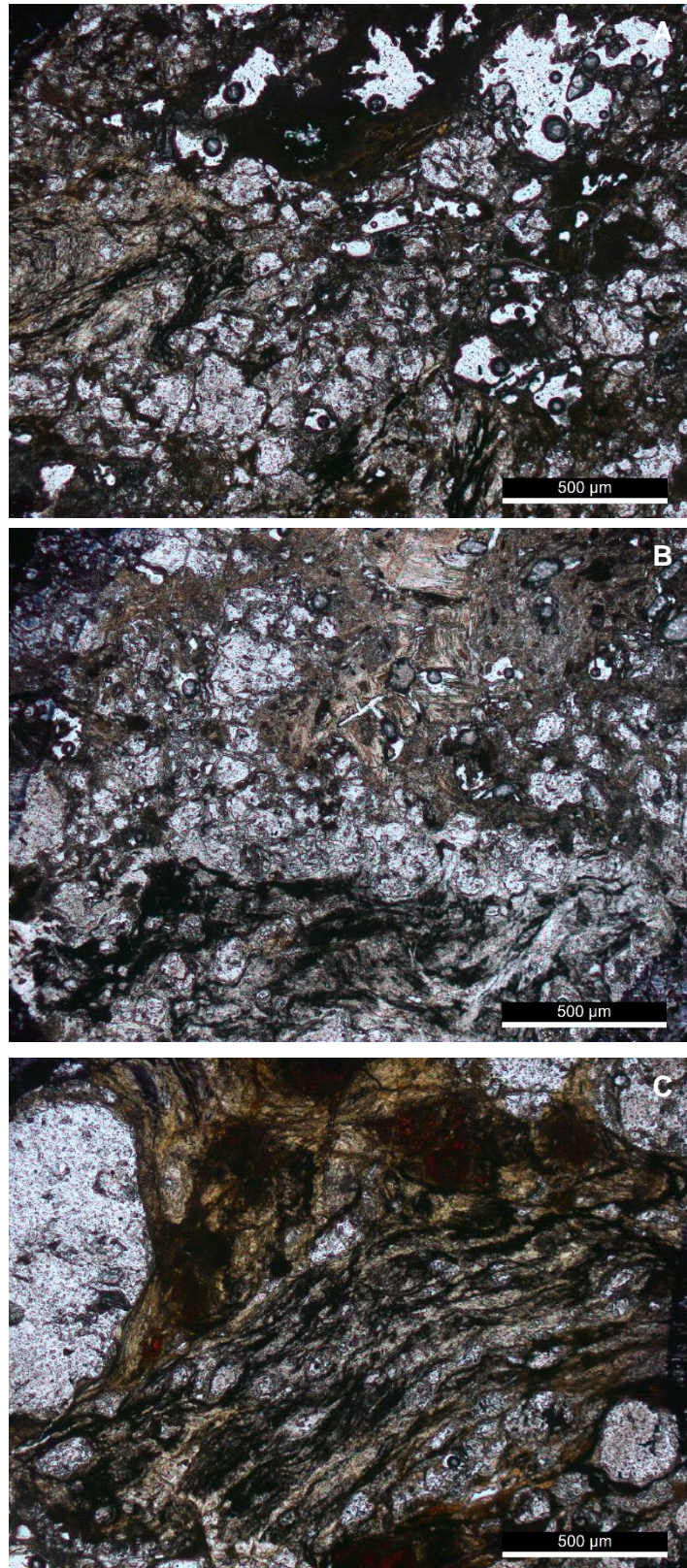
A nível mineralógico estas lâminas são constituídas essencialmente por quartzo heterogranular, muito fraturado e subgranulado (Figura 29A) e minerais de antimónio (Figura 29B). Estes foram identificados mais tarde recorrendo ao MEV, onde é ainda possível observar também massas de óxidos de ferro e restos da rocha envolvente, neste caso xisto (Figura 29C), identificável pela foliação. Nestas lâminas não foi possível observar ouro.

Para análise no MEV foram selecionados um total de seis locais de interesse (Figura 30/31) (três em cada lâmina) com o objetivo de identificar os minerais de antimónio, minerais opacos e deteção de partículas de ouro não visíveis ao microscópio.



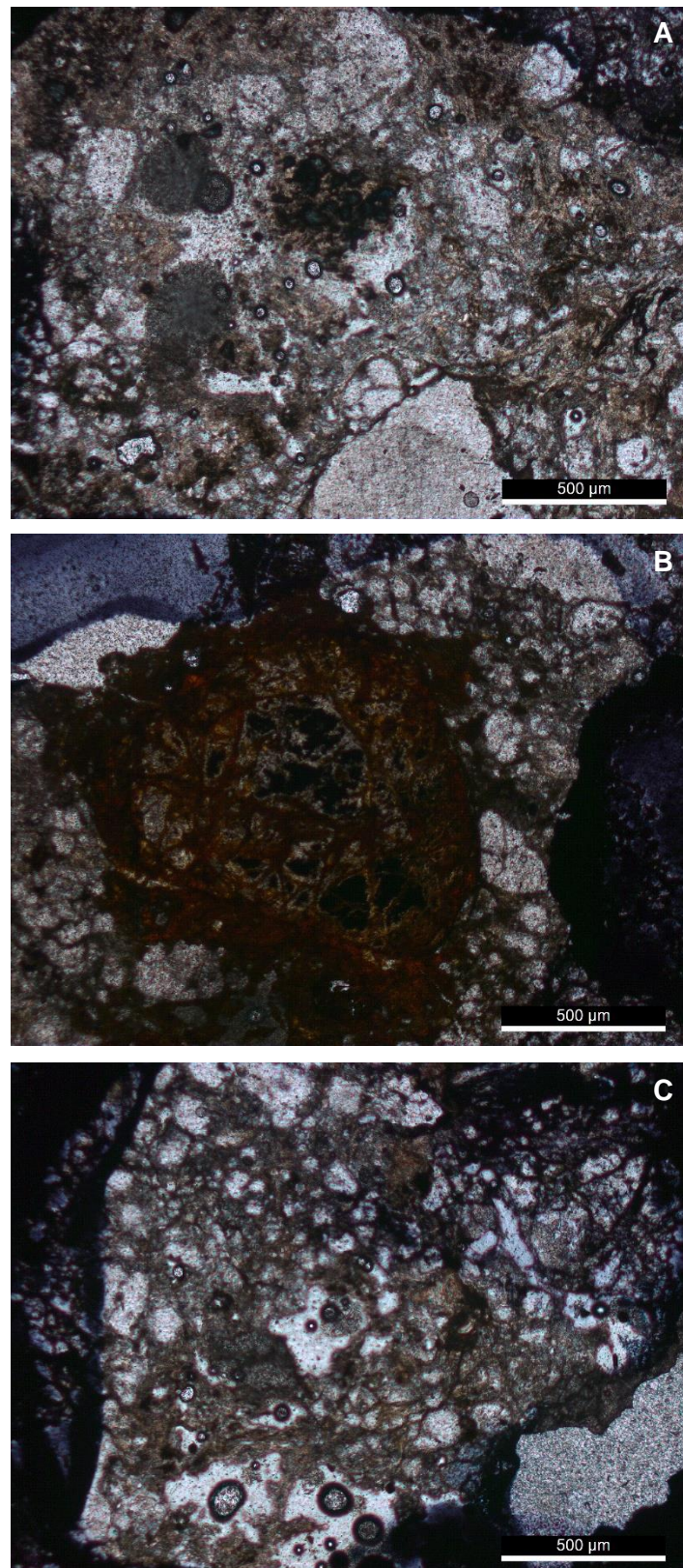
**Figura 29** – A: Quartzo heterogranular muito fraturado; B: Quartzo subgranulado associado a opacos e zona filitosa (mica branca); C: Fragmento filitoso envolvido por óxidos de ferro.





**Figura 30** - Lâmina P-Rates: A: Ponto 1 - Minerais de antimónio com estruturas fibrosas e minerais opacos; B: Ponto 2 - Quartzo subgranulado associado a opacos e zona filitosa (mica branca); C: Ponto 3 – Minerais de antimónio rodeados por massa de óxidos de ferro e grãos de quartzo.

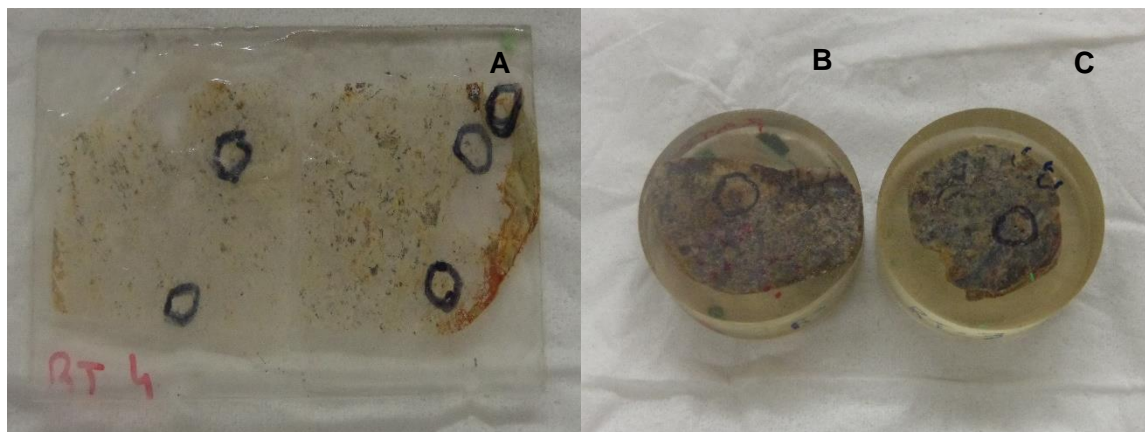




**Figura 31** - Lâmina I-Rates: A: Ponto 1 – Quartzo heterogranular, minerais opacos e mineral azul de alto relevo; B: Ponto 2 - Minerais opacos no núcleo de oxidação na lâmina rodeado por quartzo; C: Ponto 3 - Minerais opacos e semi-opacos associados a filossilicatos.



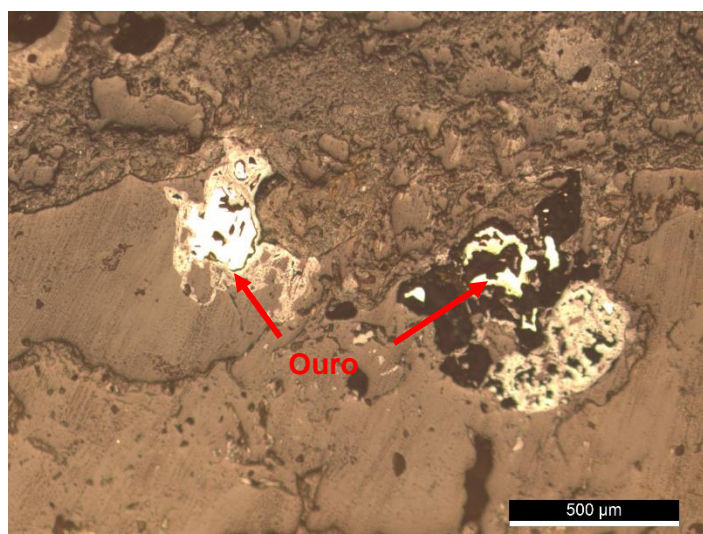
Em seguida foi observada a lâmina delgada e duas superfícies polidas obtidas através de amostra recolhidas numa antiga mina de antimónio na região de Rates, a lâmina é designada como RT4 (Figura 32A), enquanto que as duas superfícies polidas são designadas como RT2 (Figura 32B) e RT3 (Figura 32C).



**Figura 32** – A: Lâmina RT4; B: Superfície Polida RT2; C: Superfície Polida RT3.

Como era previsto a composição mineralógica desta amostra é semelhante à amostra anterior, pois ambas as amostras foram recolhidas no mesmo local. Nesta amostra foi possível observar ouro ao microscópio (Figura 33/34).

Para esta amostra foram escolhidos cinco pontos de interesse na lâmina e um ponto em cada superfície polida para análise no MEV (Figura35/36/37).



**Figura 33** - Ouro observado na Secção Polida RT2, associado a minerais de antimónio.

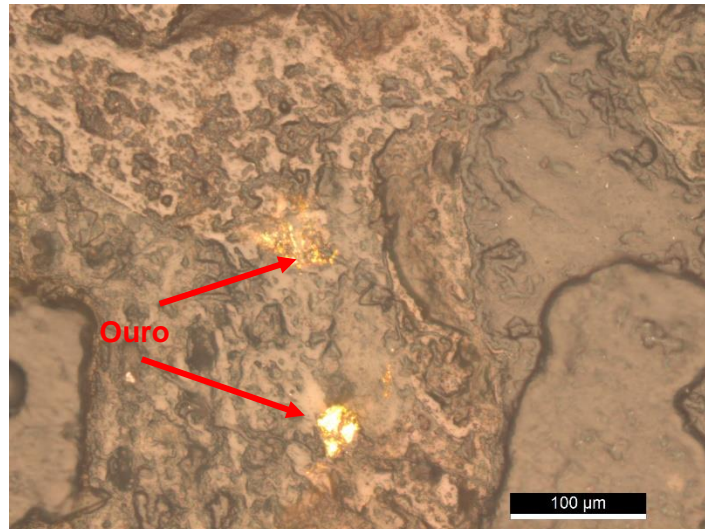
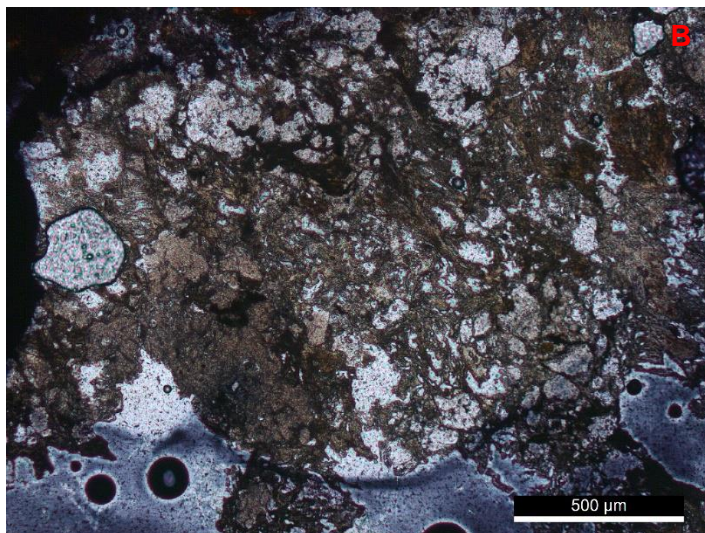
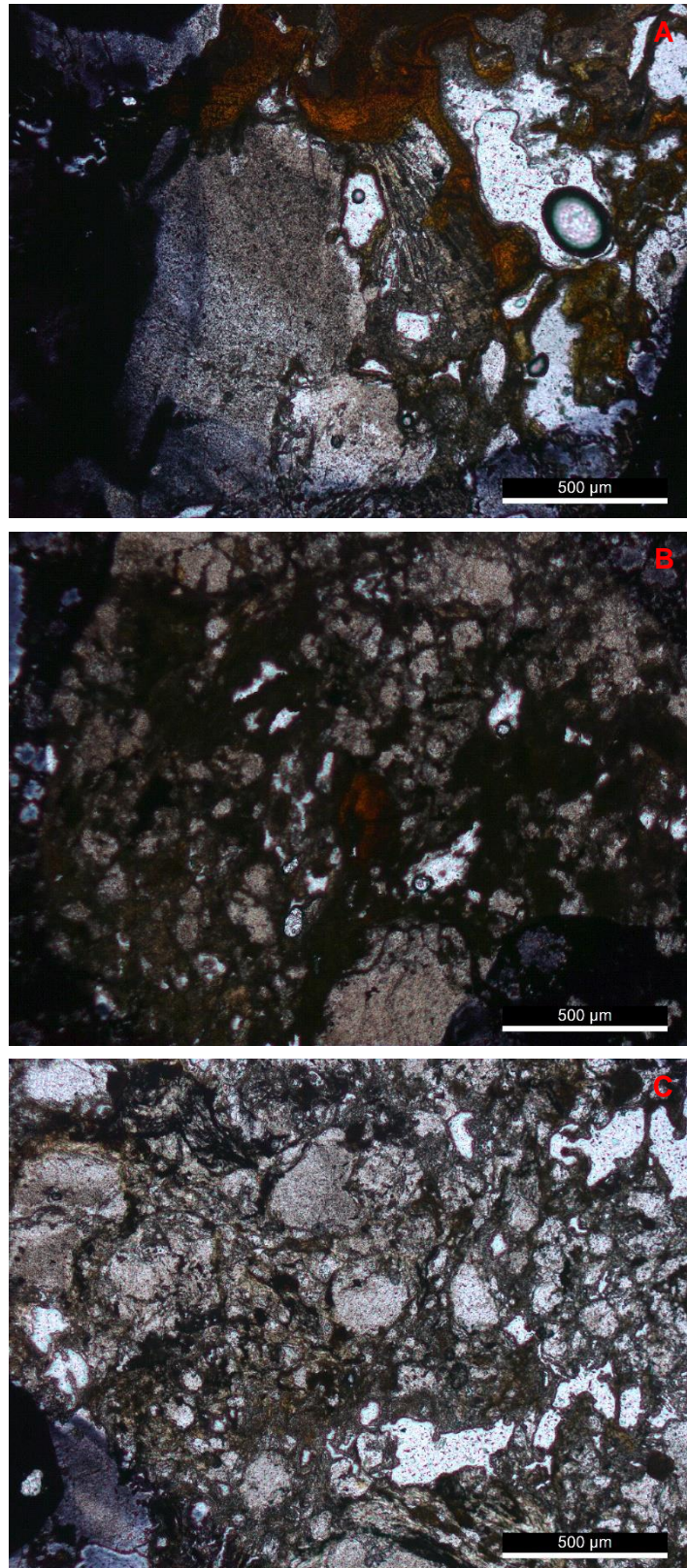


Figura 34 - Ouro observado na lâmina RT4 associado a minerais de antimónio

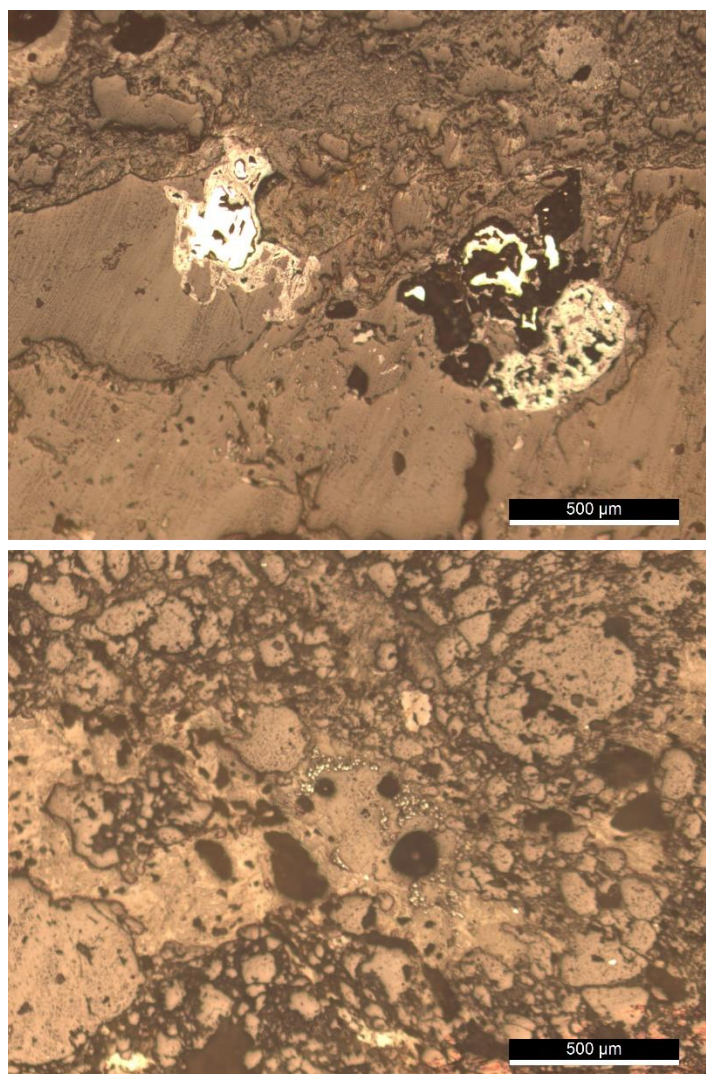


**Figura 35** - Lâmina RT4: A: Ponto 1 - Minerais opacos e semi-opacos associados a quartzo; B: Ponto 2 - Minerais de antimónio associados a quartzo.





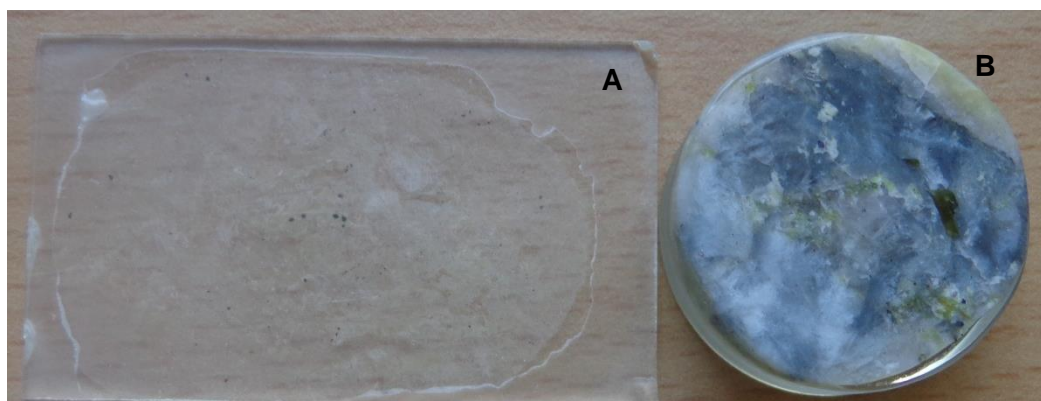
**Figura 36** - Lâmina RT4: A: Ponto 3 – Minerais cinzentos associados a óxidos de ferro; B: Ponto 4 – Massa de óxidos de ferro rodeada por minerais semi-opacos; C: Ponto 5 - Minerais cinzentos e opacos possivelmente minerais de antimónio.



**Figura 37** – A: Rates 2 – Grãos de ouro associados a minerais de antimónio; B: Rates 3.

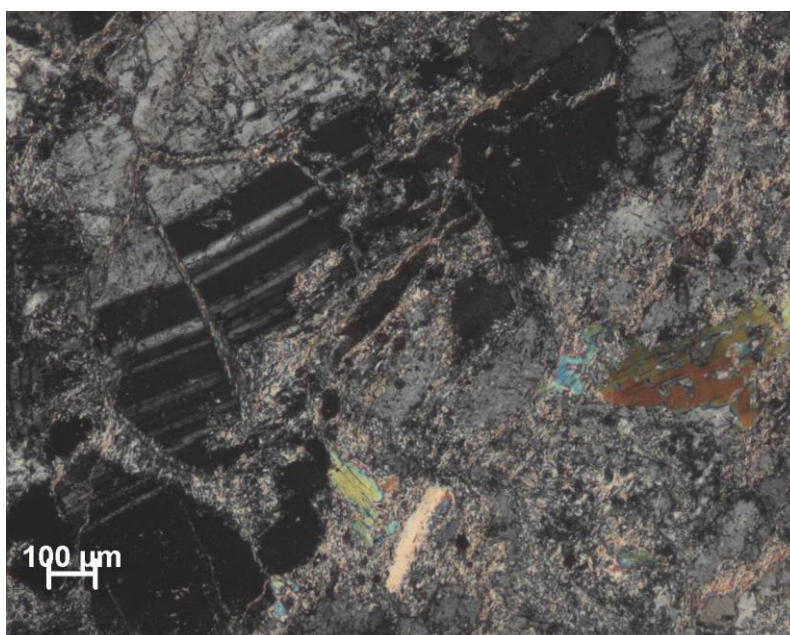


Das amostras recolhidas apenas para a amostra AV2 foi feita uma lâmina polida e uma superfície polida designada como AV2L (Figura 38A) e AV2S (Figura 38B).



**Figura 38** – A: Lâmina Polida (AV2L); B: Secção Polida (AV2S).

A amostra AV2 foi classificada como uma rocha filoniana cataclasada (Figura 39) de origem hidrotermal composta essencialmente por quartzo, plagioclase e feldspato potássico. Apresenta matriz quartzosa e minerais opacos dispersos pela matriz. Nesta amostra foram também identificadas micas associadas a plagioclase, minerais de titânio e os minerais opacos. Observados à luz transmitida confirmou-se tratarem-se de arsenopirite.



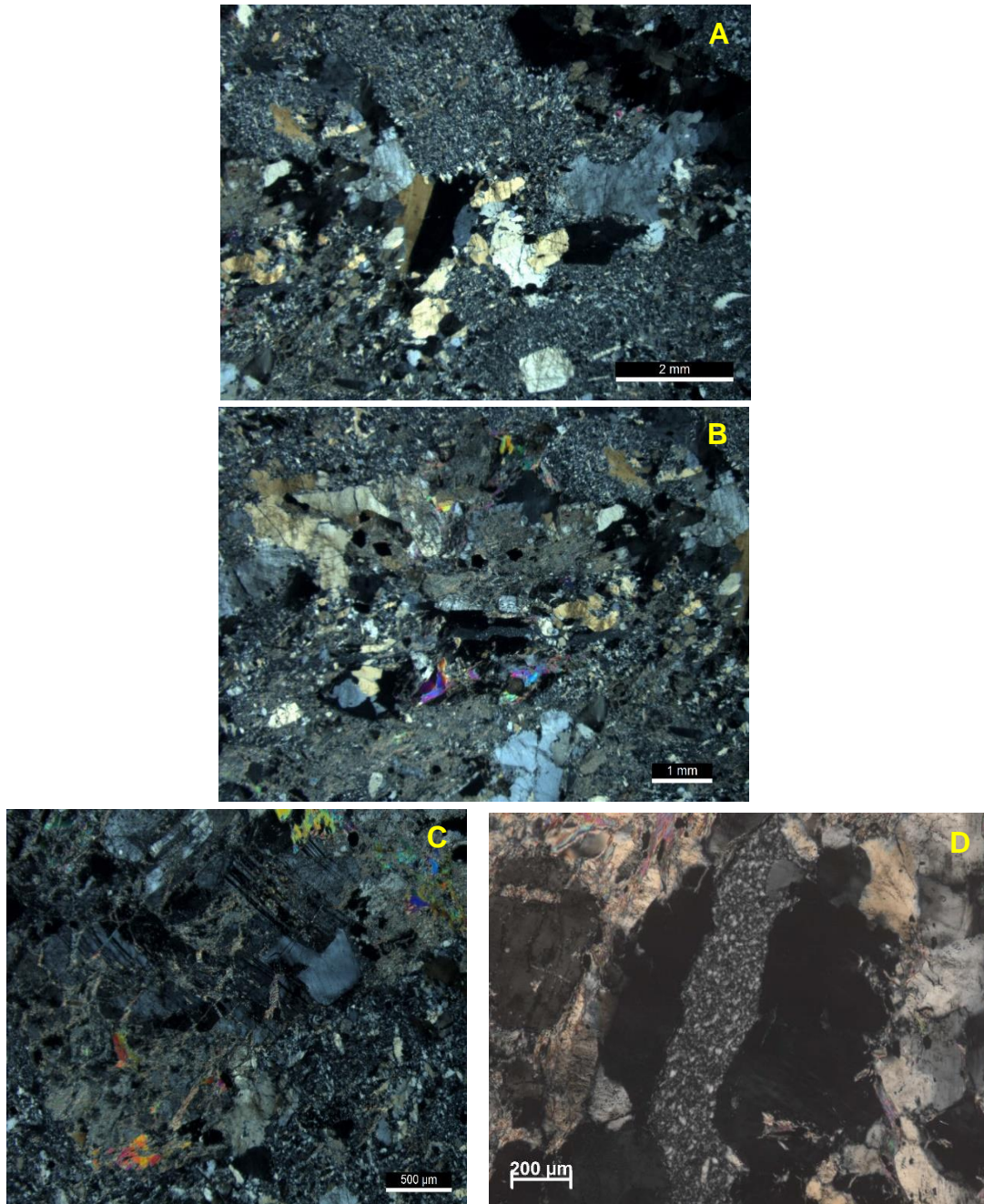
**Figura 39** - Plagioclase cataclasitada e sericitizada.

Nesta amostra foram identificadas três gerações de quartzo:

1ª - Quartzo deformado com extinção ondulante e subgranulado nos bordos (Figura 40A);

2ª - Quartzo Sub-granulado (Figura 40B) e

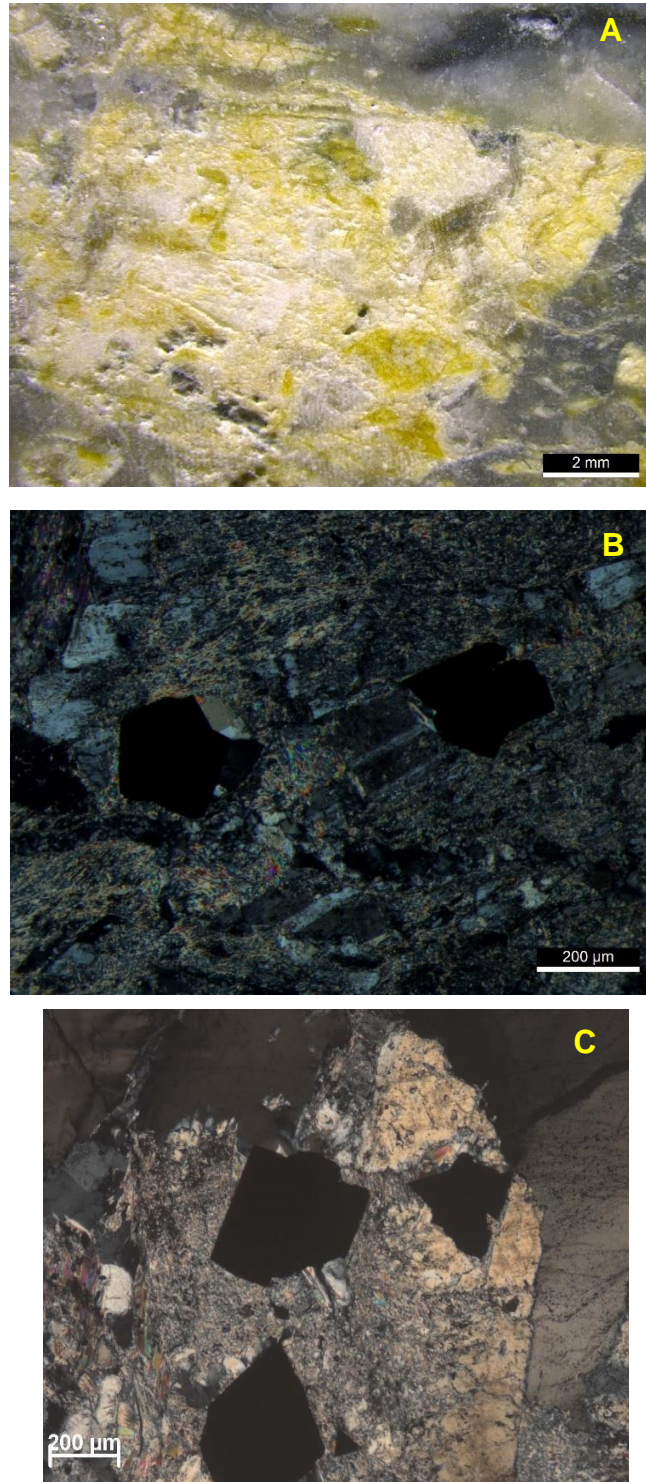
3ª - Quartzo com relação de apófise com a plagioclase, tendência euédrica, normalmente a preencher fraturas de outros minerais (Figura 40C/D);



**Figura 40** – A: Quartzo com lamelas de formação; B: Quartzo em corredores de subgranulação e presença de feldspatos alterados e de minerais opacos; C: Plagioclase fraturada preenchida por quartzo; D: Grão de quartzo fraturado preenchido por quartzo criptocristalino com alguns filosilicatos.

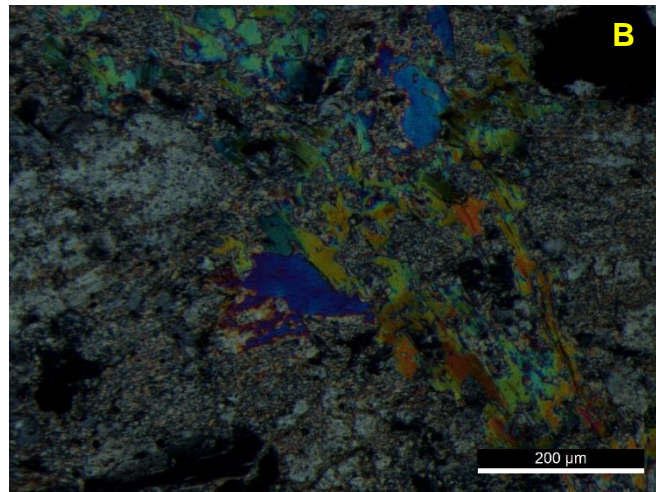
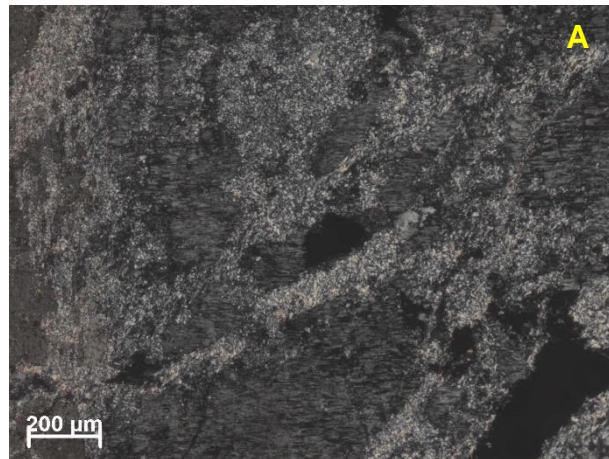


A plagioclase tem uma forma euédrica (Figura 41A) e fraturada. As fraturas da plagioclase estão normalmente preenchidas por quartzo. A plagioclase apresenta relações de apófise com o quartzo, apresenta-se alterada, cataclata (Figura 39), e sericitada (Figura 42A). Associados à plagioclase ocorrem mica branca (sericítica), quartzo e arsenopirite (Figura 41B/C).



**Figura 41** – A: Mineral de plagioclase euédrico visível em amostra de mão; B: Arsenopirite associada a plagioclase; C: Arsenopirite euédrica associada a plagioclase alterada.

O feldspato potássico é pertítico (Figura 42A), com uma alteração sericítica preferencial das exsoluções de albite (Figura 42B).



**Figura 42** – A: Plagioclase sericítica e feldspato pertítico; B: Moscovite secundária sobre o feldspato alterado.



## 5.4. Microscopia eletrónica de varrimento e Microanálise por Raios-X

Após a observação das lâminas ao microscópio petrográfico, as amostras foram observadas a microscópio eletrónico de varrimento para melhorar a análise das lâminas e para uma identificação mais precisa dos minerais observados especialmente dos de Sb e da qualificação dos minerais de ouro quanto a sua composição e relação com outros minerais. O exame EDS (Energy Dispersed X-ray [Raio-X de Energia Dispersa] EDX ou EDS) foi realizado utilizando o MEV ambiental de alta resolução (Schottky), com Microanálise por Raios X e Análise de Padrões de Difração de Eletrões Retrodifundidos: Quanta 400FEG ESEM / EDAX Genesis X4M, as condições de obtenção das imagens e espectros estão apresentadas na parte inferior de cada imagem.

### 5.4.1. Amostras de Rates

#### 5.4.1.1. Pontos de Ouro

Na lâmina I-Rates foi apenas identificado um grão de ouro e trata-se de um mineral constituído apenas de Au (Figura 43).

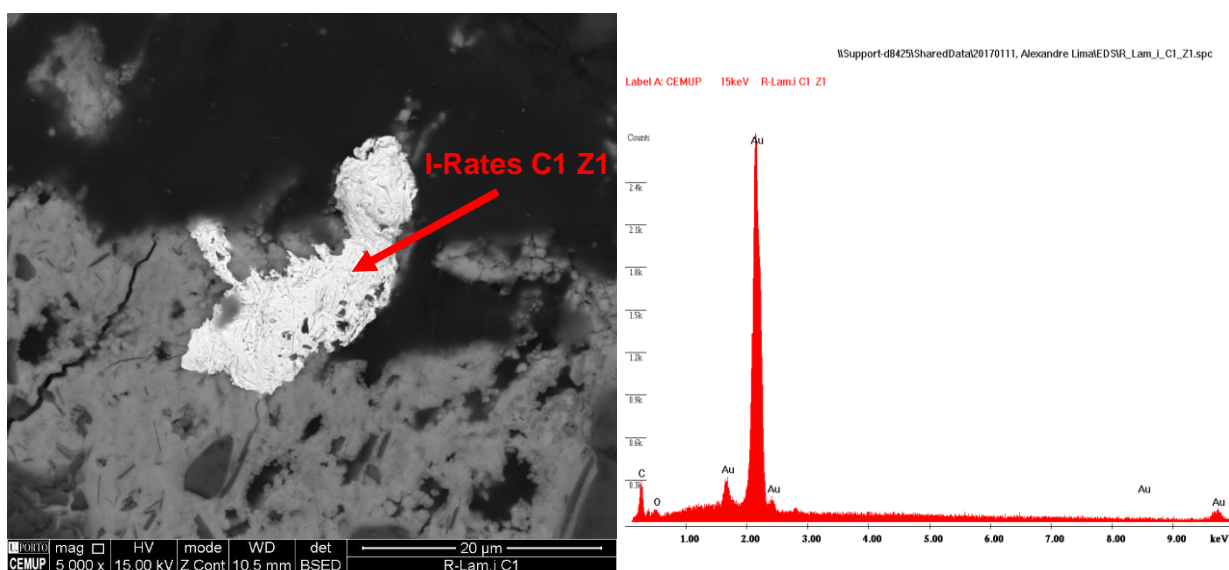
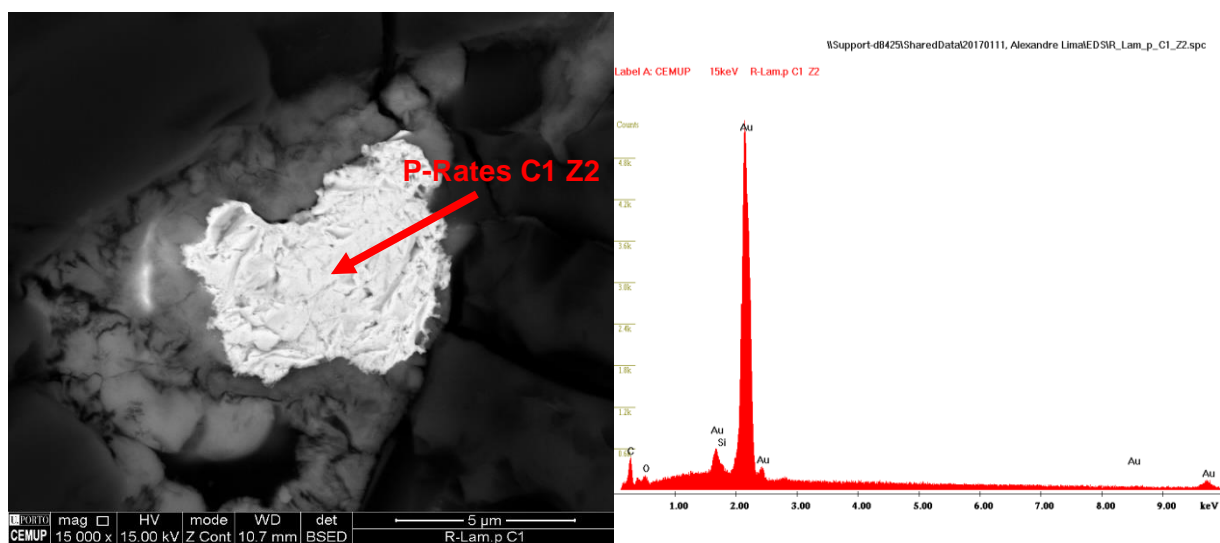


Figura 43 – Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espectro EDS.

Na lâmina P-Rates foi novamente identificado apenas um mineral de ouro, apesar de os resultados apresentarem outros elementos além de Au, estes elementos serão resultado da possível interferência dos minerais que rodeiam este grão de ouro (Figura 44).

**Tabela 6** - Percentagens dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates Z1 C2.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
<b>C</b>	9.42	56.76	0.0253	1.3718	0.1962	1.0000
<b>O</b>	2.12	9.57	0.0058	1.3431	0.02026	1.0000
<b>Si</b>	0.53	1.36	0.0052	1.3660	0.7208	1.0000
<b>Au</b>	87.43	32.31	0.8335	0.9143	1.0366	1.0000



**Figura 44** - Grão de Ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

Na superfície polida R2 foram analisados individualmente um total de oito grãos de ouro mais um grupo onde apenas foi tirada foto (Figuras 45 a 53), no total de todos estes pontos de ouro apenas num mineral foi identificada prata (Figura 47).

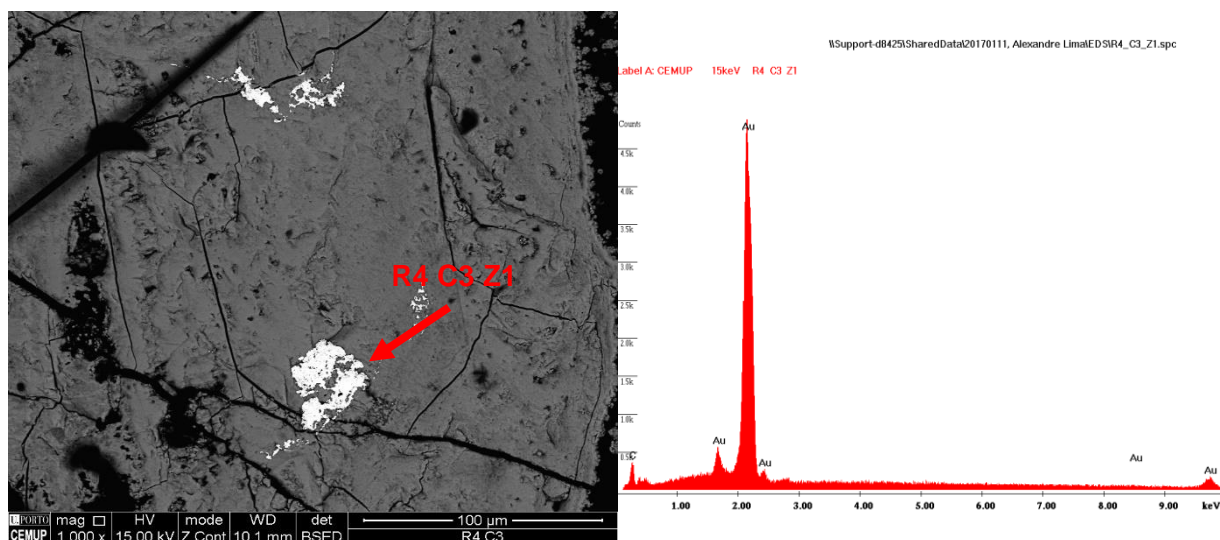


Figura 45 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

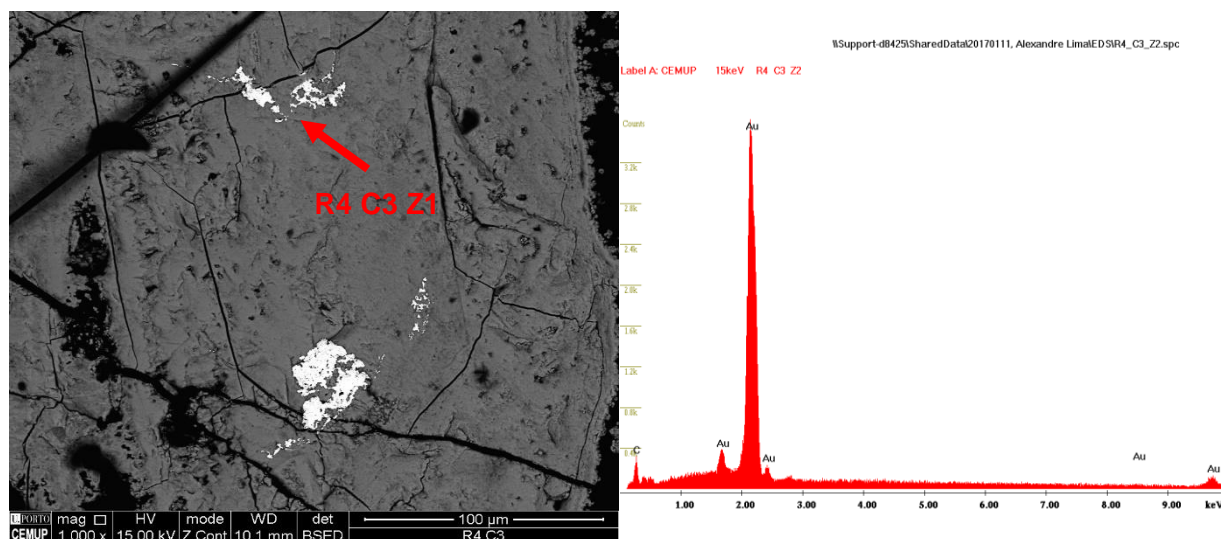
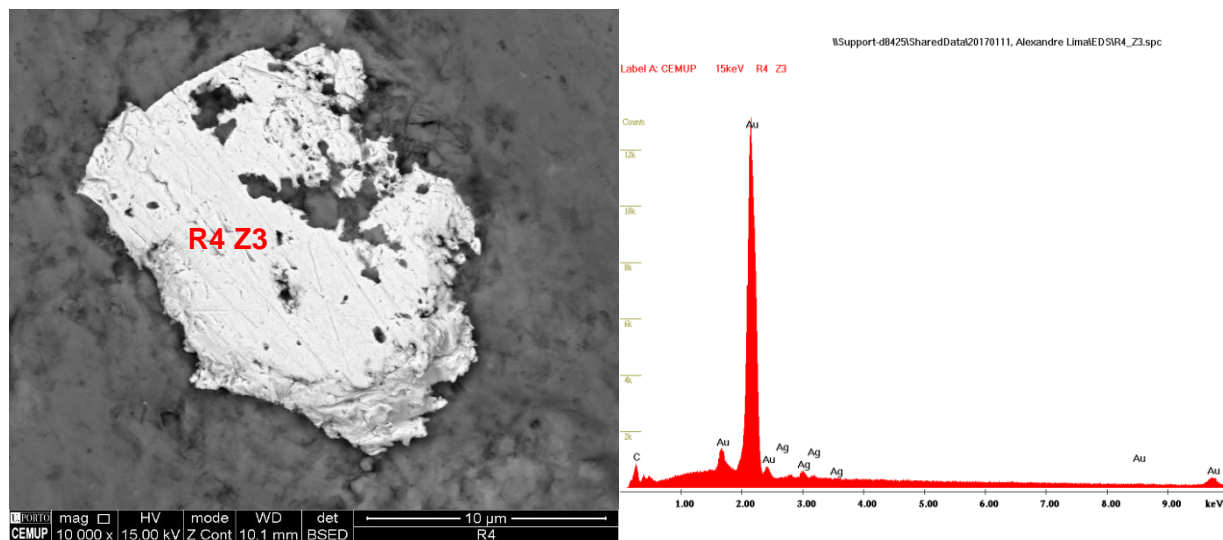


Figura 46 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

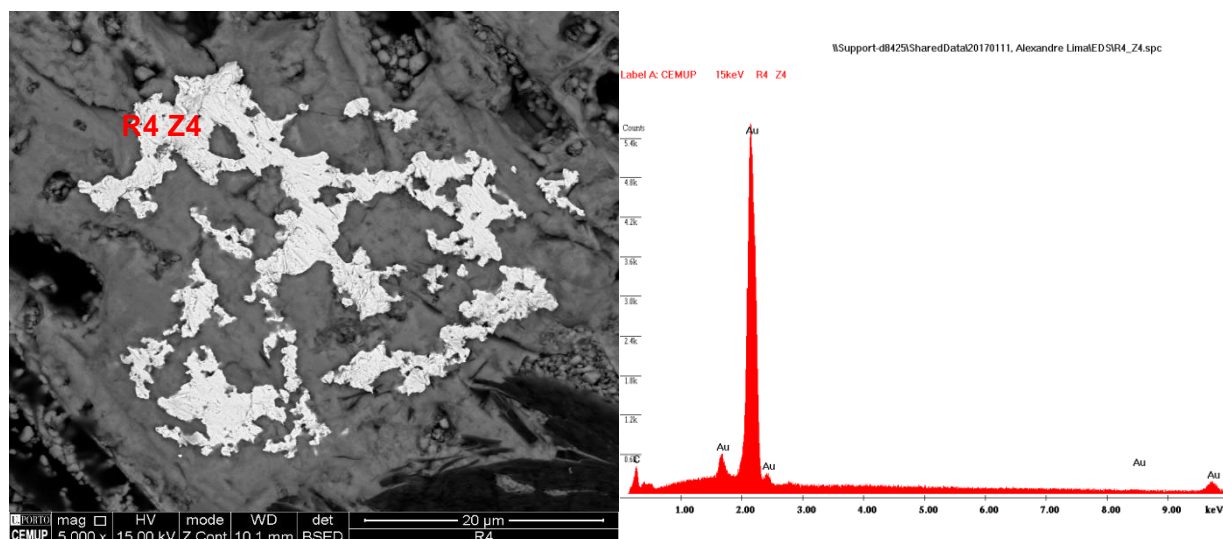
No ponto R4\_Z3 (Figura 47) foi detetada uma pequena percentagem de prata (percentagem de Ag de 2,67%), apesar ter prata presente esta encontra-se em pequena percentagem, ou seja, insuficiente para ser considerado como um mineral de electrum ( $20\% < Ag < 45\%$ ).

**Tabela 7** - Percentagens dos vários elementos identificados para o ponto R4 Z3.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
<b>Au</b>	97.33	95.23	0.9690	0.9959	0.9996	1
<b>Ag</b>	2.67	4.77	0.0191	1.1076	0.6458	1



**Figura 47** - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.



**Figura 48** - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

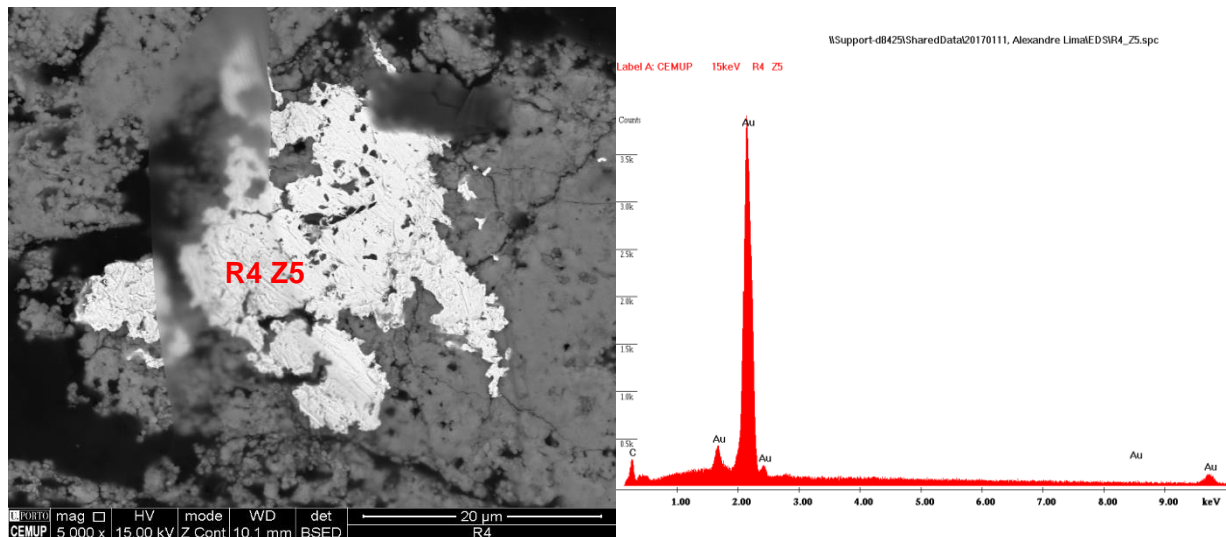


Figura 49 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

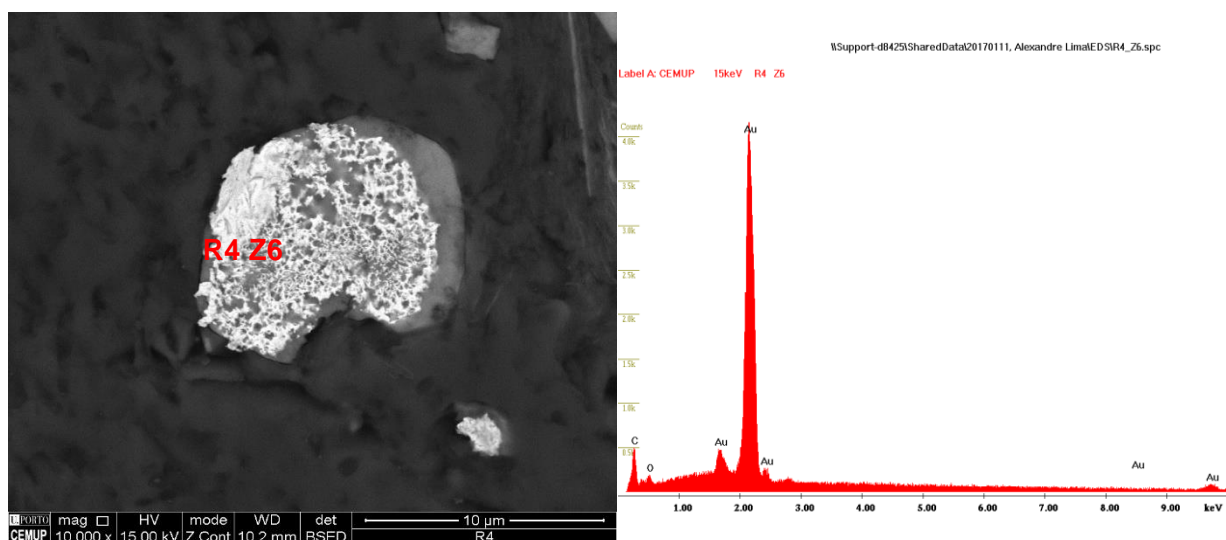


Figura 50 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

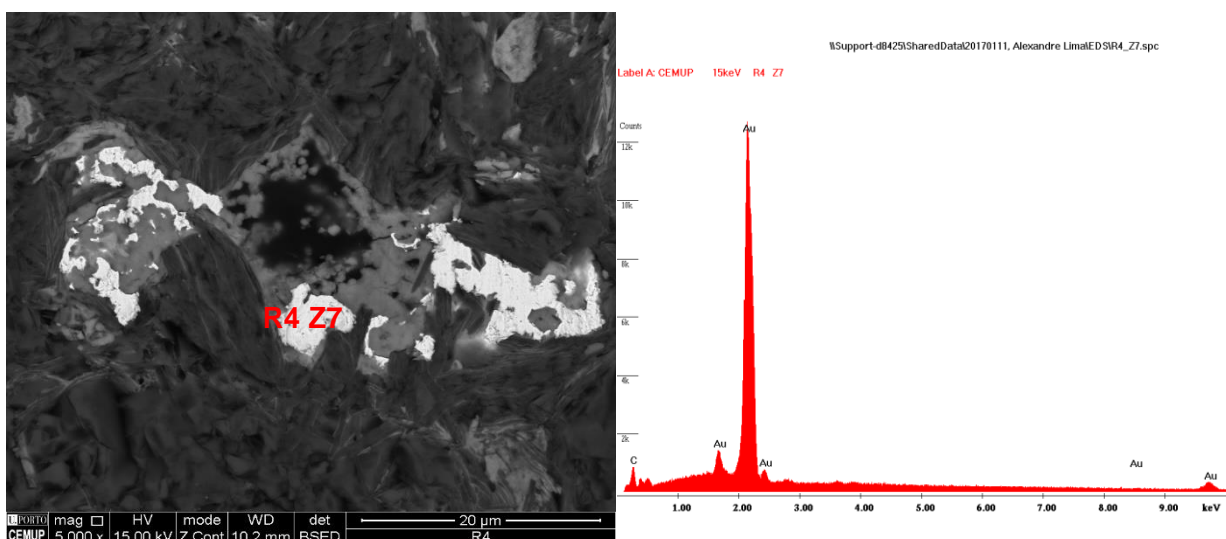


Figura 51 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.



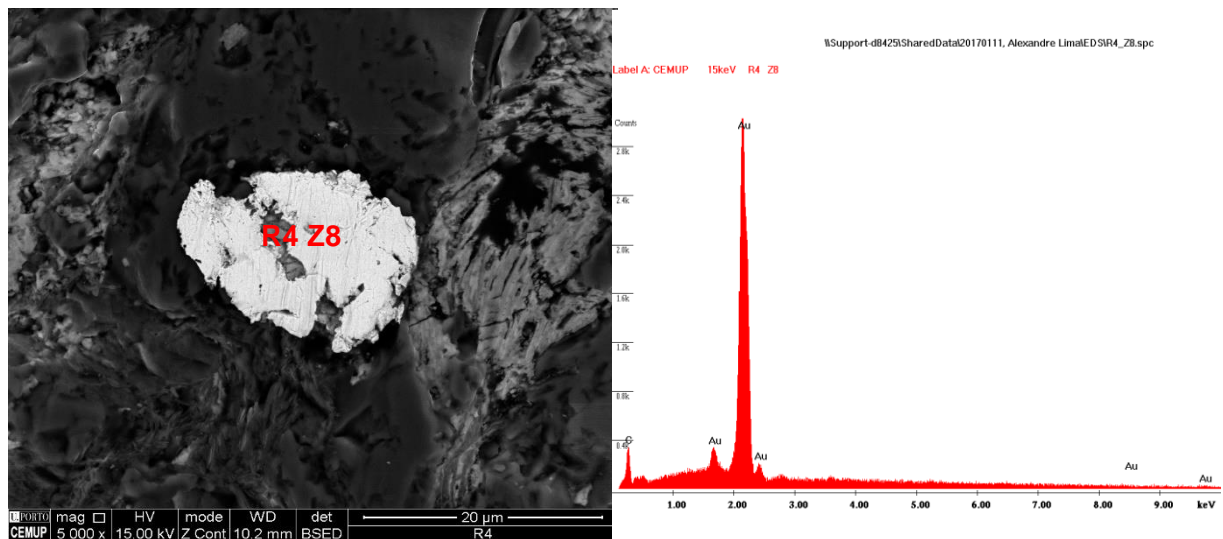


Figura 52 - Grão de ouro visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

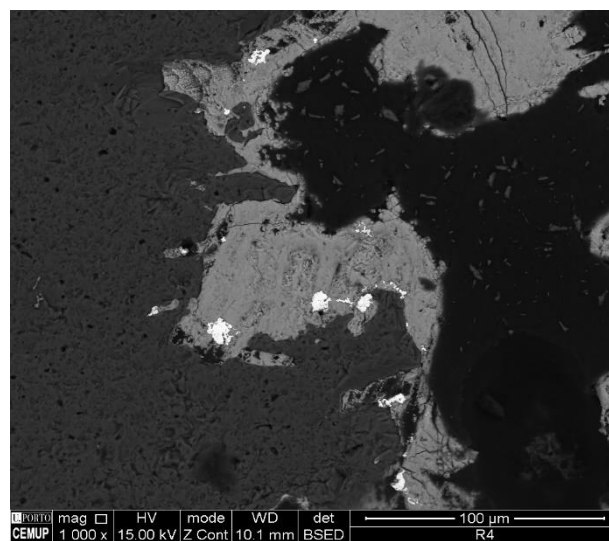


Figura 53 - Outros grãos ouro identificados para a secção R4.

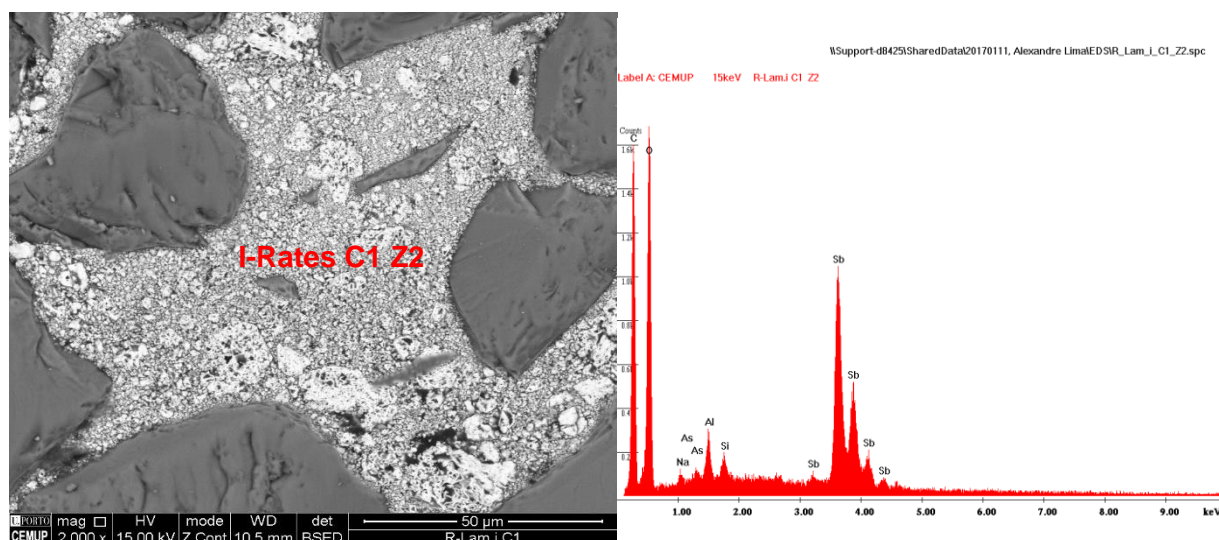
### 5.4.1.2. Outros Minerais

Na lâmina I-Rates foram analisados cinco minerais:

- O primeiro mineral (I-Rates C1 Z2) (Figura 54) trata-se de um mineral rico em antimónio (44,21%), apesar de terem sido identificados outros elementos como alumínio (1,78%), sílica (0,84%), arsénio (0,74%) e cálcio (0,58%), as percentagens são mínimas sendo que não foram contabilizadas.

**Tabela 8** - Percentagem dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C1 Z2.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
<b>C</b>	27,11	52.52	0,1362	1,1330	0,4434	1,0003
<b>O</b>	24,73	35.97	0,1120	1,11110	0,4075	1,0001
<b>Na</b>	0,58	0,59	0,0022	1,0359	0,3618	1,0006
<b>As</b>	0,74	0,23	0,0040	0,8731	0,619	1,0012
<b>Al</b>	1,78	1,54	0,0112	1,0351	0,6070	1,0018
<b>Si</b>	0,85	0,70	0,0064	1,0720	0,7059	1,0032
<b>Sb</b>	44,21	8,45	0,3700	0,7975	1,0495	1,0000

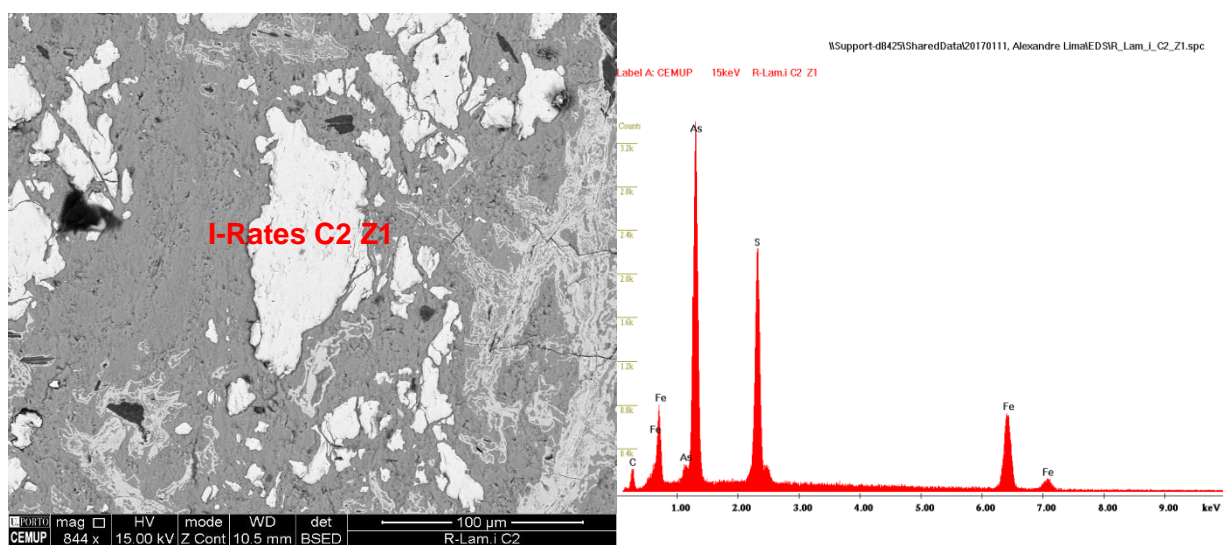


**Figura 54** - Mineral visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- O segundo mineral (I-Rates C2 Z1) (Figura 55) analisado facilmente foi identificado como um mineral de arsenopirite ( $\text{FeAsS}$ ).

**Tabela 9** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C2 Z1.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-ratio	Z	A	F	Número de Átomos
<b>As</b>	44,75	32,14	0,29	0,9345	0,6926	1,0012	1
<b>S</b>	20,48	34,37	0,1664	1,1306	0,7178	1,0009	1
<b>Fe</b>	34,77	33,5	0,3484	1,0065	0,9872	1,0084	1



**Figura 55** – Mineral de arsenopirite visto ao microscópio eletrónico e respetivo espectro EDS.

- O terceiro mineral (I-Rates C2 Z2) (Figura 56) analisado trata-se de um mineral rico em ferro (24,41%) e em arsénio (36,12%), através do cálculo das proporções dos elementos trata-se de um óxido de arsénio e ferro, possivelmente Scorodite, mineral secundário formado em zonas de oxidação onde existam sulfatos de arsénio, o que no caso é possível, pois no lado esquerdo da massa identificada como óxido de arsénio está identificado um mineral de arsenopirite.

**Tabela 10** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C2 Z2.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-ratio	Z	A	F	Número de Átomos
<b>O</b>	39,47	72,85	0,1999	1,1216	0,4512	1,0010	6
<b>As</b>	36,12	14,24	0,2188	0,8814	0,6873	1,0000	1
<b>Fe</b>	24,41	12,91	0,2319	0,9416	0,9987	1,0102	1



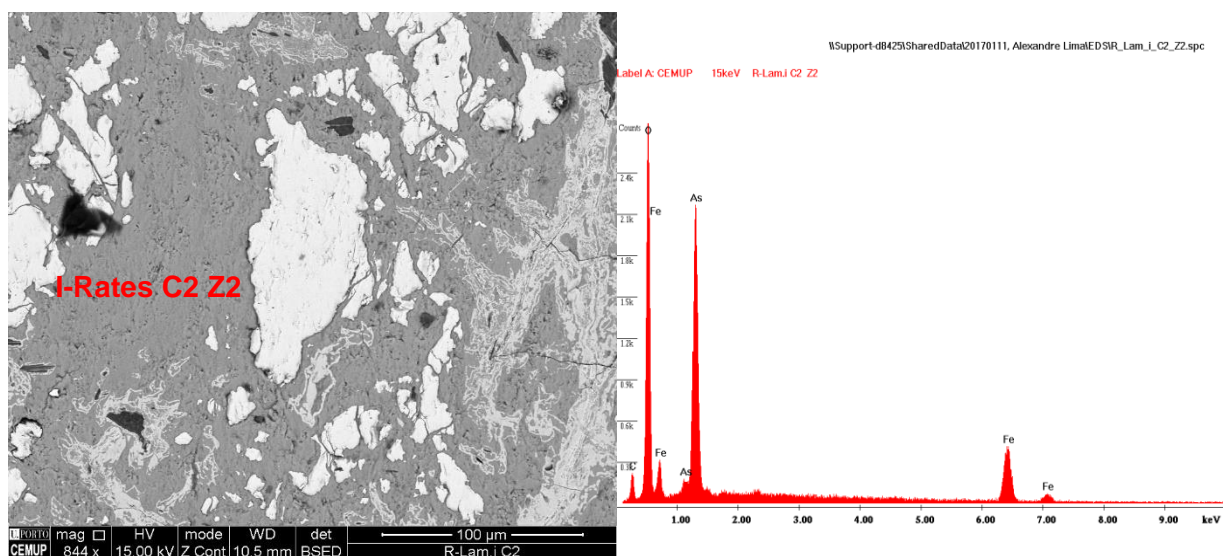


Figura 56 – Scorodite visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- O quarto mineral (I-Rates C2 Z3) (Figura 57) analisado será na realidade uma massa oxidada resultante da oxidação dos minerais envolventes, neste caso a arsenopirite, a possível massa de scorodite e possivelmente o resto de outros minerais primários antes de serem oxidados.

Tabela 11 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C2 Z3.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-ratio	Z	A	F	Número de Átomos
O	31,73	69,56	0,2084	1,1596	0,5662	1,0007	13
As	11,79	5,52	0,0580	0,9106	0,5398	1,0005	1
Sb	31,06	8,95	0,2667	0,8336	1,0235	1,0065	2
Fe	25,42	15,97	0,2435	0,9832	0,9725	1,0018	3

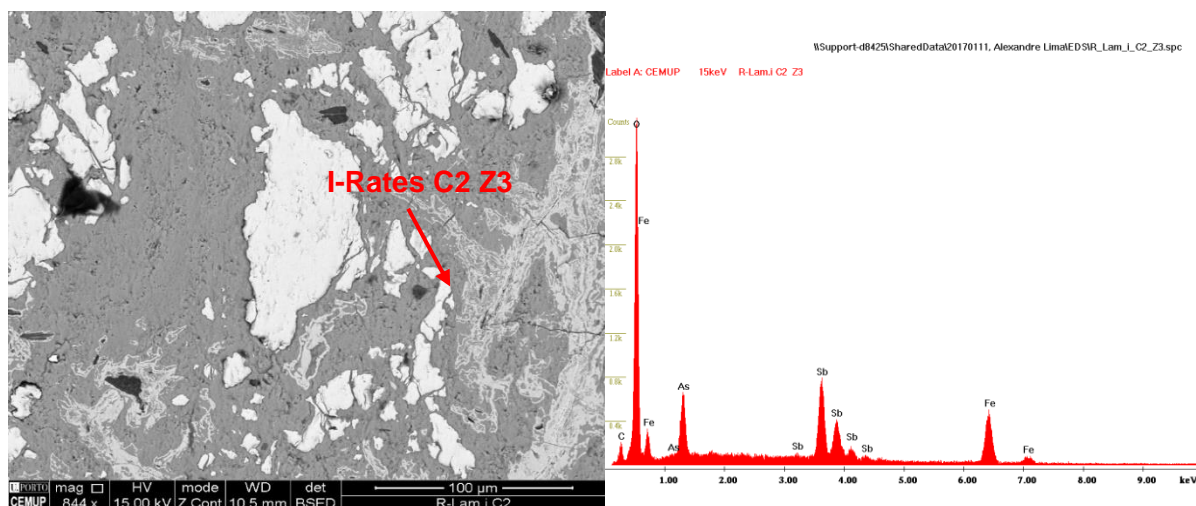
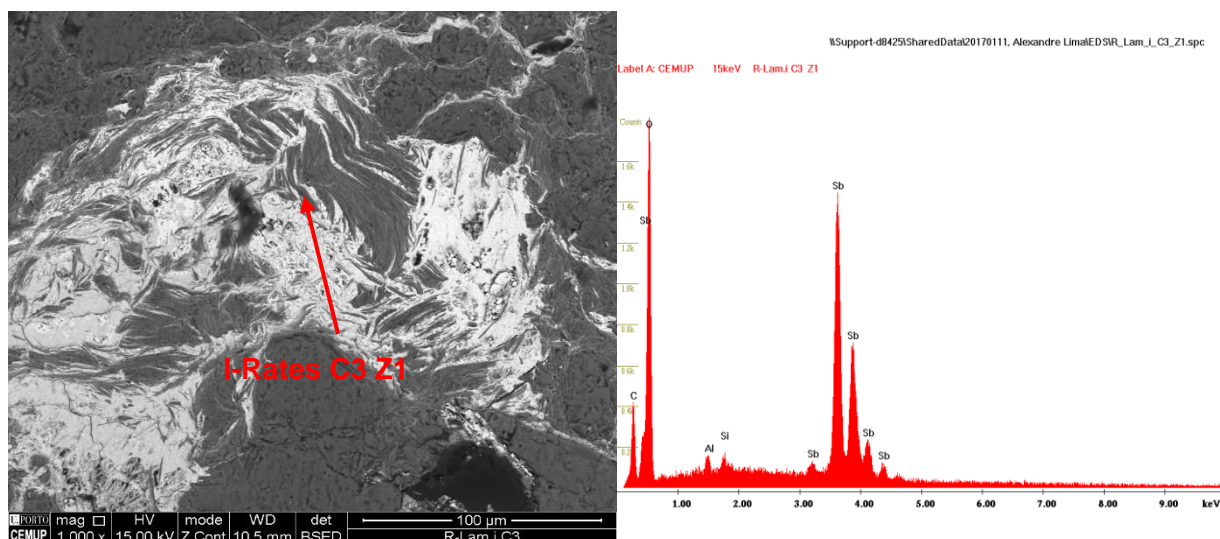


Figura 57 - Mineral visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- O quinto mineral (I-Rates C3 Z1) (Figura 58) analisado foi identificado como óxido de antimónio e devido ao cálculo das proporções e da sua forma foi identificado como Estibiconite ( $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}_2^{5+}\text{O}_6(\text{OH})$ ), um mineral hidrotermal secundário formado em zonas de oxidação de minerais de antimónio, maioritariamente associado à estibina e podendo substituí-la completamente. Visto as concentrações de Al e Si serem mínimas não foram consideradas para o cálculo das proporções de elementos.

**Tabela 12** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto I-Rates C3 Z1.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-ratio	Z	A	F	Número de Átomos
O	21,44	65,79	0,1669	1,2445	0,6257	1,0001	2
Al	1,04	1,90	0,0061	1,1675	0,4960	1,0024	-
Si	0,78	1,36	0,0058	1,2240	0,6066	1,0044	-
Sb	76,74	30,95	0,7042	0,9003	1,0193	1,0000	1



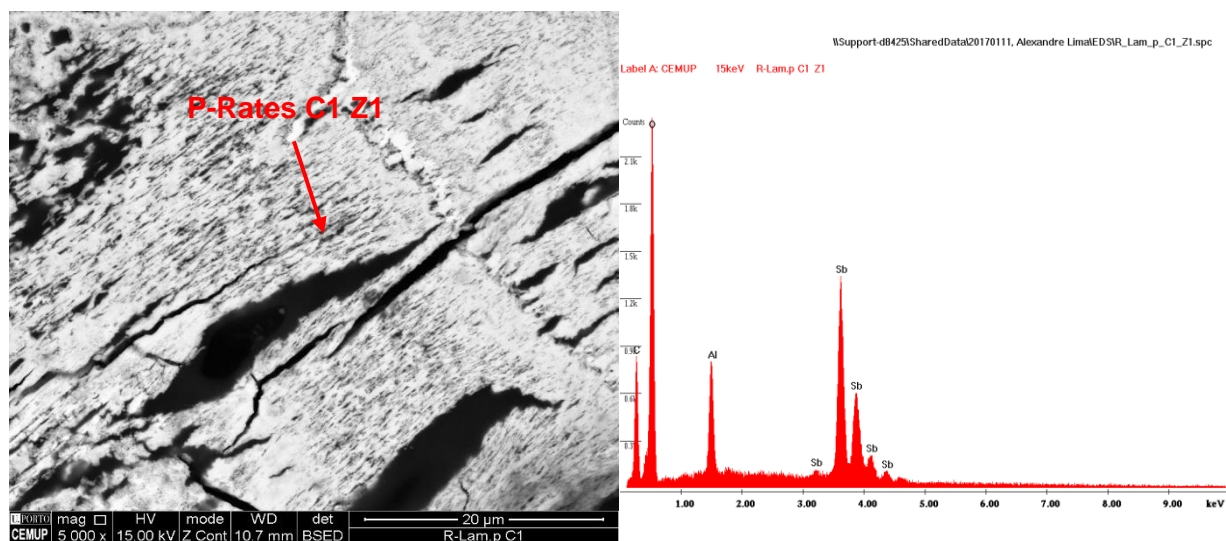
**Figura 58** - Mineral estibiconite visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

Na lâmina P-Rates foram analisados dez minerais, um dos quais um grão de ouro que foi já apresentado acima:

- O primeiro mineral (P-Rates C1 Z1) (Figura 59) analisado trata-se de um óxido de antimónio ainda apresentando alumínio (8,64%), embora em pequena quantidade quando comparado com o de antimónio (64,8%). Apesar da presença do alumínio ser significativa é em pequena quantidade quando comparada com o antimónio, por isso não foi considerado para o cálculo das proporções, sendo assim o mineral aqui presente será possivelmente a estibiconite.

**Tabela 13** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z1.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
O	26,56	66,08	0,1973	1,2002	0,6187	1,0001	3
Al	8,64	12,74	0,0519	1,1232	0,5336	1,0020	-
Sb	64,880	21,18	0,5735	0,8660	1,0220	1,0000	1



**Figura 59** - Mineral estibiconite ao microscópio eletrônico e respetivo espectro EDS.

- O segundo mineral (P-Rates C1 Z3) (Figura 60) analisado é óxido de antimónio, apesar da presença de outros elementos como sílica (3,29%), alumínio (1,86%) e cálcio (1,81%), este último encontra-se em pequenas quantidades e não foi considerado para o cálculo das proporções.

Tabela 14 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z3.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de átomos
O	30,69	71,17	0,2321	1,1863	0,6376	1,0001	4
Na	1,81	2,93	0,0061	1,1050	0,3019	1,0007	-
Al	1,81	2,55	0,0110	1,1096	0,5312	1,0026	-
Si	3,29	4,34	0,0243	1,1573	0,6373	1,0038	-
Sb	62,36	19,01	0,5471	0,8554	1,0257	1,0000	1

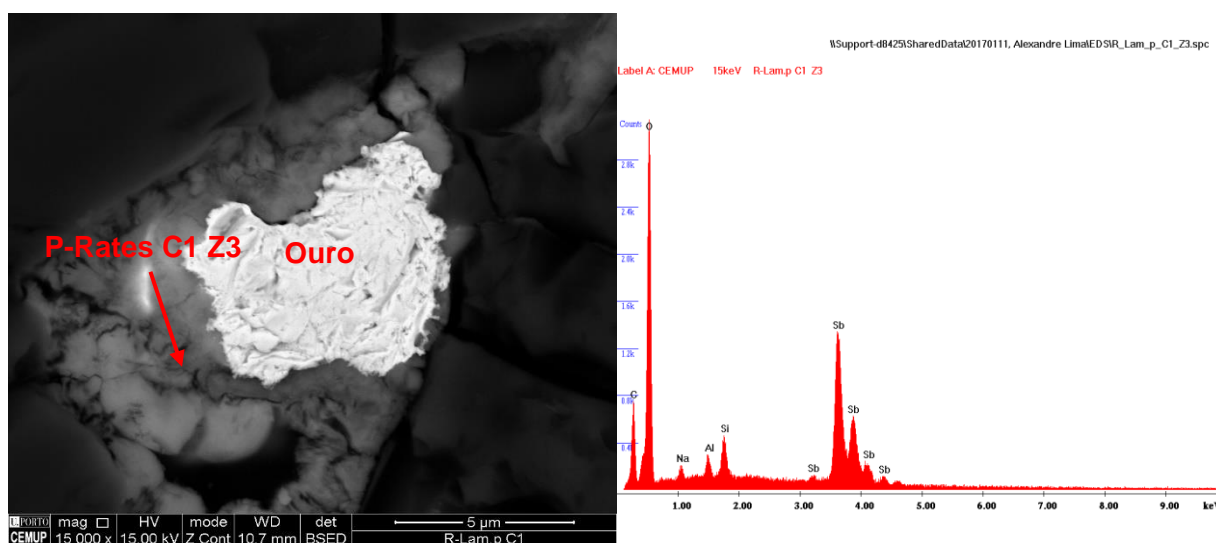


Figura 60 – Óxido de antimónio associado a grão de ouro ao microscópio eletrónico e respetivo espectro EDS.

- O terceiro mineral (P-Rates C1 Z4) (Figura 61) analisado é novamente um óxido de antimónio identificado como valentinite ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ), devido à proporção entre os elementos e a imagem obtida no microscópio eletrónico.

Tabela 15 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z4.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
O	27,58	67,67	0,2065	1,1979	0,6248	1,0001	3
Al	7,93	11,54	0,0475	1,1211	0,5336	1,0020	-
Sb	64,49	20,79	0,5702	0,8643	1,0230	1,0000	1

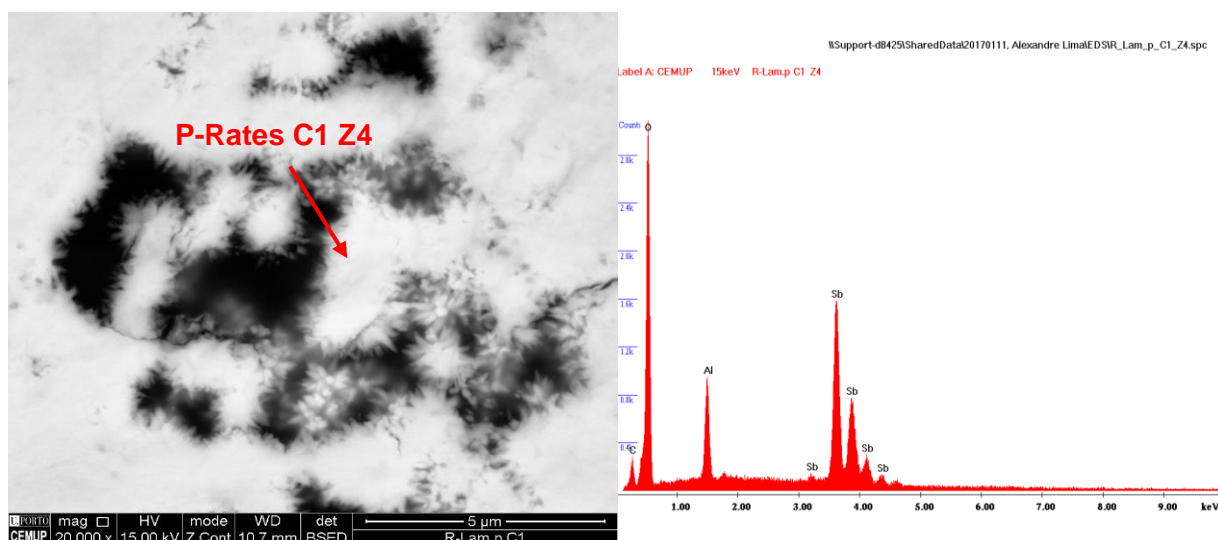


Figura 61 – Valentinite vista ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- O quarto mineral (P-Rates C1 Z5) (Figura 62) analisado trata-se novamente de um mineral de valentinite, neste caso é facilmente identificado através da forma em drusa característica deste óxido de antimónio. O quinto mineral (P-Rates C1 Z6) (Figura 63) analisado será possivelmente uma massa composta maioritariamente por antimónio.

Tabela 16 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z5.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
O	21,59	67,69	0,1717	1,2503	0,6362	1,0001	2
Sb	78,41	32,31	0,7236	0,9048	1,0200	1,0000	1

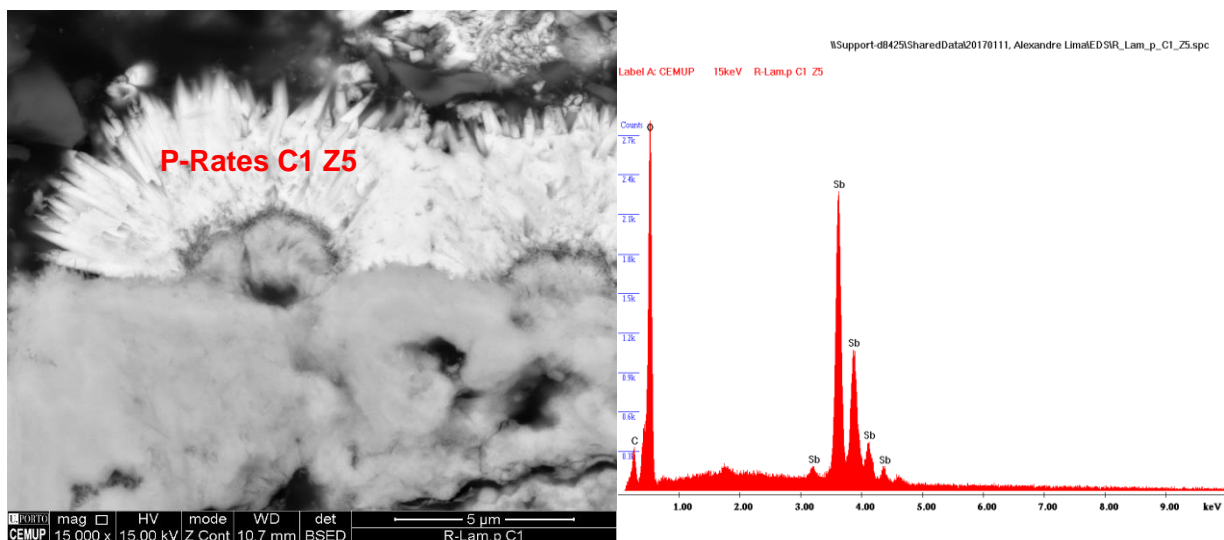


Figura 62 – Valentinite vista ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.



Tabela 17 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z6.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
O	26,64	69,99	0,2072	1,2141	0,6404	1,0001
Na	0,97	1,777	0,0031	1,1306	0,2867	1,0006
AL	1,84	2,86	0,0107	1,1373	0,5129	1,0023
Si	0,89	1,33	0,0066	1,1892	0,6196	1,0041
Sb	69,66	24,04	0,6252	0,8769	1,0235	1,0000

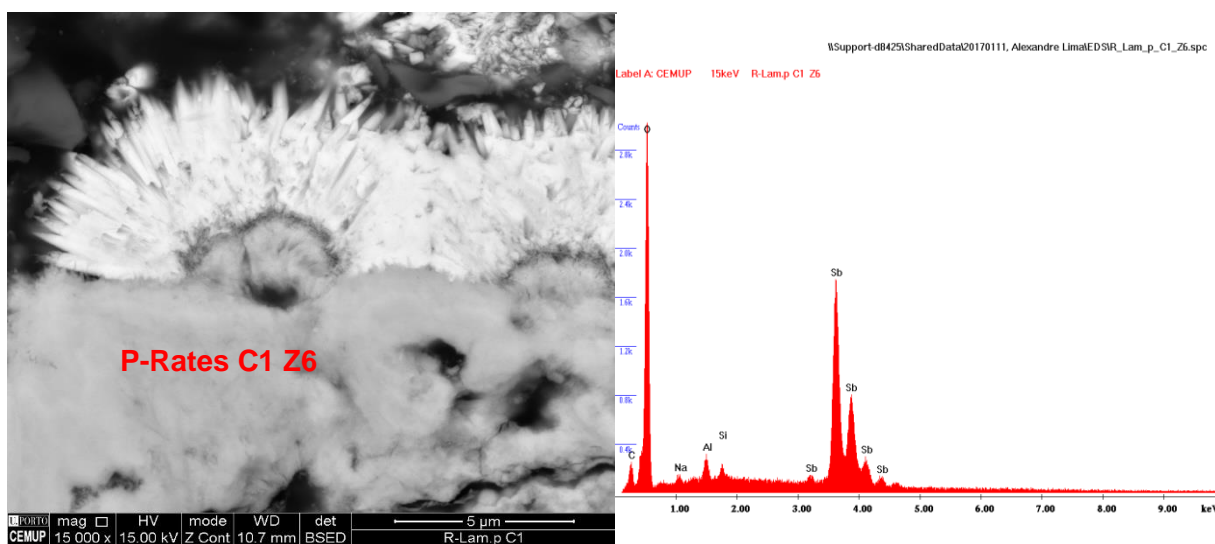


Figura 63 - Mineral visto no microscópio eletrónico e respetivo espectro EDS.

- O sexto (P-Rates C1 Z7) (Figura 64) e sétimo (P-Rates C1 Z8) (Figura 65) minerais analisados correspondem a duas massas idênticas de óxidos de antimónio, mudando apenas a coloração em microscópio eletrónico, possivelmente devido à presença de alumínio na massa P-Rates C1 Z8.

Tabela 18 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z7.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
O	19,4	60,54	0,1454	1,2451	0,6005	1,0001
Na	0,54	1,18	0,0017	1,1591	0,2760	1,0008
As	2,24	4,1	0,0129	1,1679	0,4926	1,0025
Si	1,44	2,57	0,0106	1,2243	0,5971	1,0043
Sb	75,37	30,91	0,6900	0,9006	1,0164	1,0000

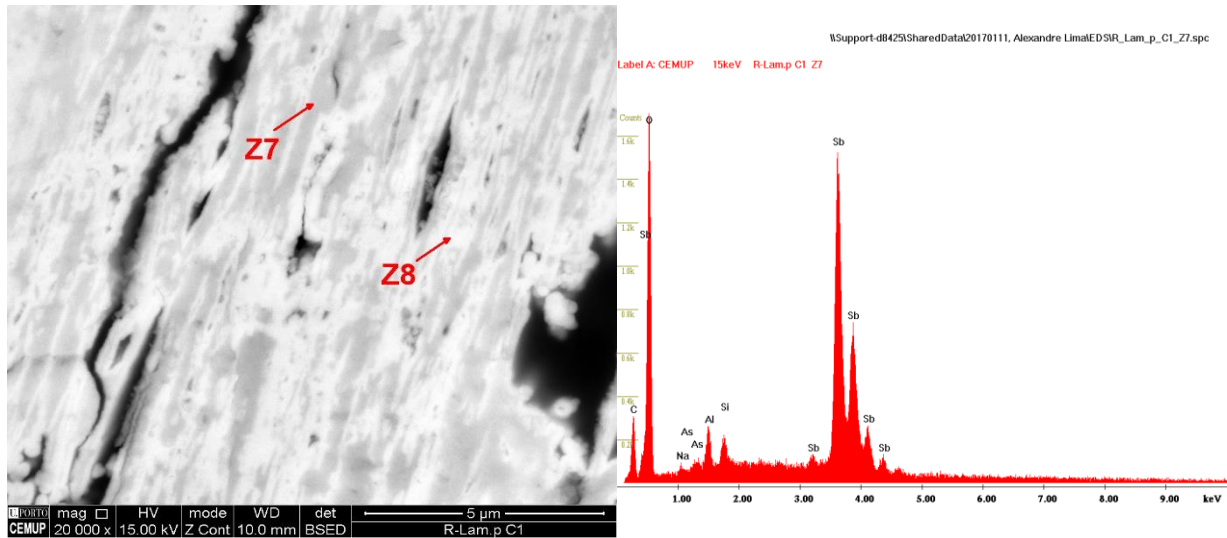


Figura 64 - Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

Tabela 19 - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C1 Z7.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
O	24,31	66,57	0,1816	1,2206	0,6119	1,0001
Na	0,59	1,13	0,0019	1,1366	0,2855	1,0008
As	1,52	0,89	0,0073	0,9575	0,5029	1,0015
Al	2,56	4,16	0,0148	1,1436	0,5042	1,0023
Si	1,41	2,20	0,0103	1,1963	0,6067	1,0040
Sb	69,60	25,05	0,6261	0,8818	1,0202	1,0000

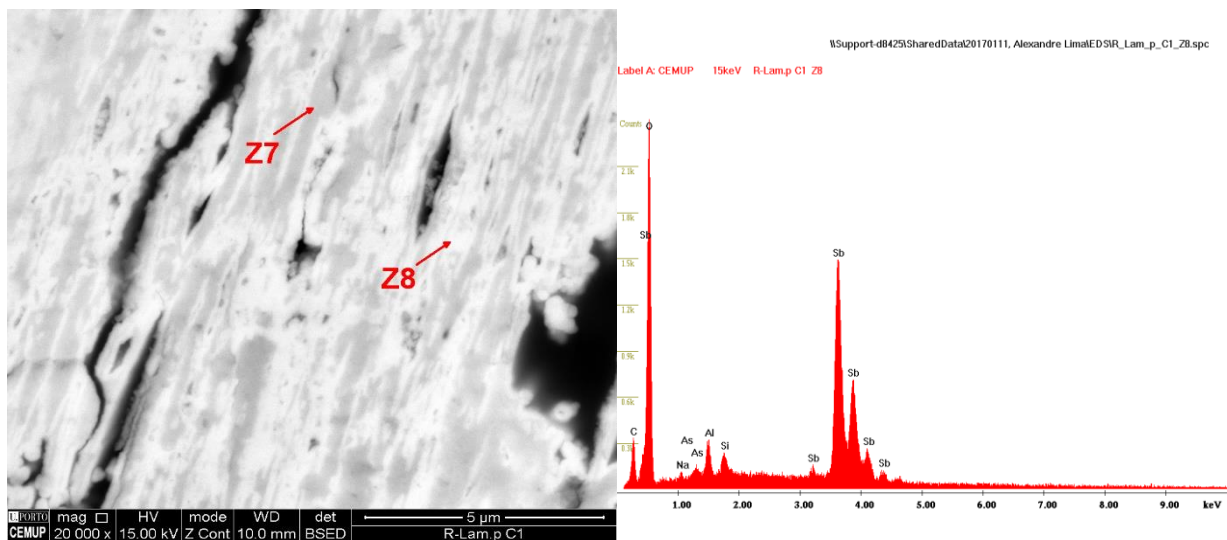
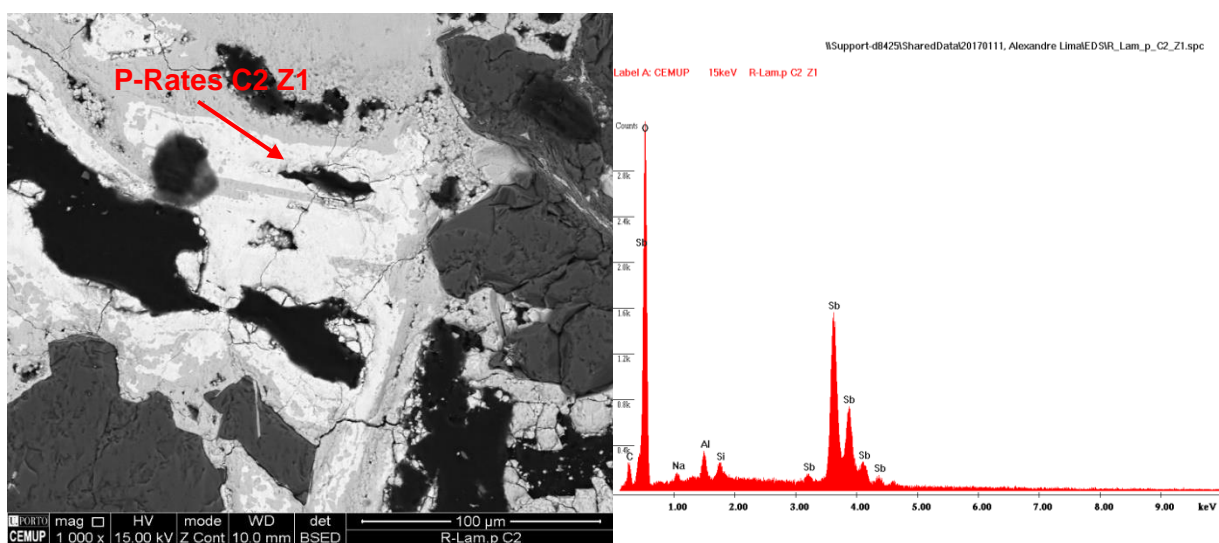


Figura 65 - Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- Nos dois últimos minerais (P-Rates C2 Z1 e P-Rates C2 Z2) (Figura 66 e 67) confirmou-se tratar novamente de óxidos de antimónio, possivelmente a valentinite.

**Tabela 20** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C2 Z1.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
<b>O</b>	29,18	71,33	0,2239	1,1989	0,6402	1,0001	3
<b>Na</b>	1,27	2,16	0,0041	1,1167	0,2907	1,0007	-
<b>Al</b>	2,40	3,49	0,0140	1,1222	0,5182	1,0023	-
<b>Si</b>	1,36	1,89	0,0100	1,1222	0,5182	1,0023	-
<b>Sb</b>	65,79	21,14	0,5838	0,8652	1,0257	1,0000	1



**Figura 66** – Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espectro EDS.

**Tabela 21** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto P-Rates C2 Z2.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
<b>O</b>	22,63	66,9	0,1755	1,2361	0,6274	1,0001	2
<b>Na</b>	0,98	1,71	0,0056	1,1591	0,4948	1,0023	-
<b>Al</b>	0,59	1,00	0,0044	1,2142	0,6062	1,0043	-
<b>Si</b>	73,75	28,65	0,6733	0,8938	1,021	1,0004	-
<b>Sb</b>	2,05	1,74	0,0204	1,0648	0,9338	1,0000	1



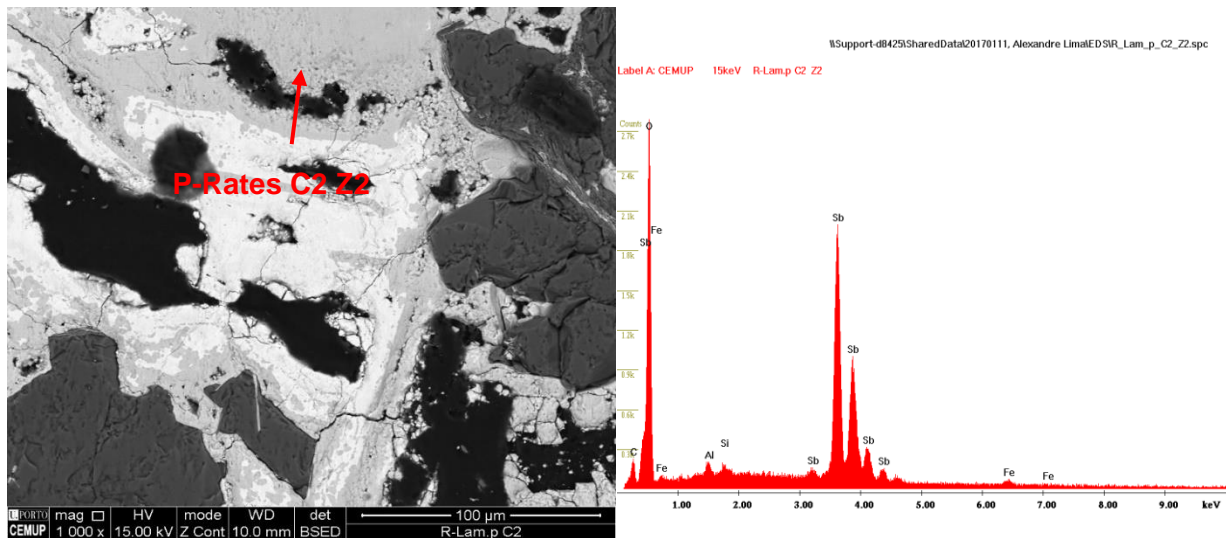


Figura 67 - Óxido de antimónio visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

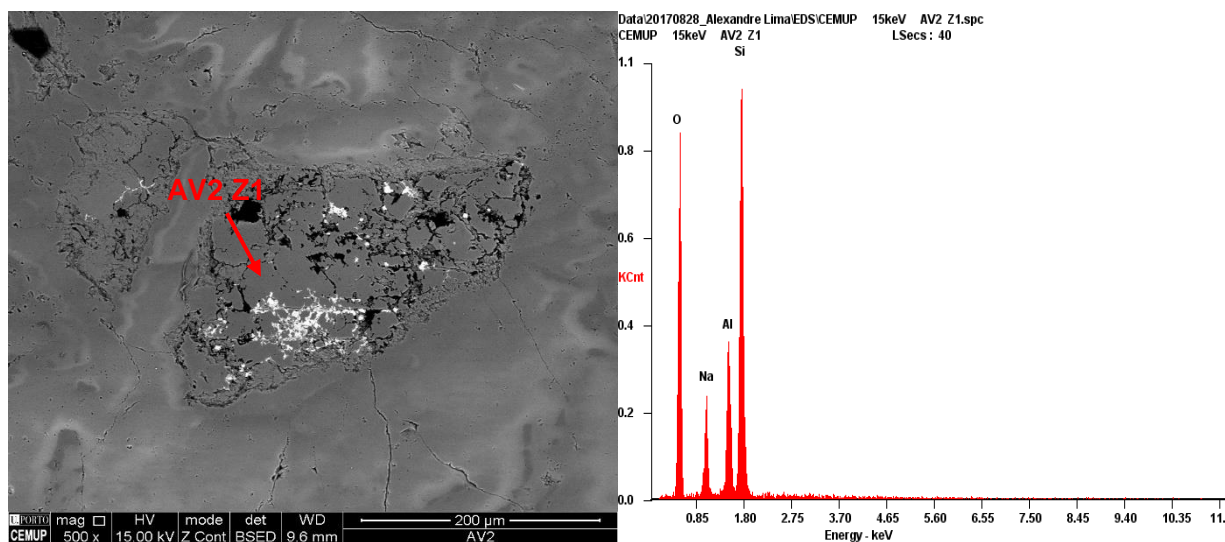
### 5.4.2. Amostra de Corvos (AV2)

A amostra AV2 foi analisada no MEV para determinar o estado do ouro (livre, disseminado ou incluído), caracterizar as arsenopirites quanto à presença de ouro incluído e identificar a composição das plagioclases quanto à quantidade de Sódio (Na) e Cálcio (Ca). No total foram analisados dez minerais na lâmina polida da amostra AV2.

- O primeiro mineral (AV2 Z1) (Figura 68) analisado é uma plagioclase sódica, sendo então um mineral de albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ).

**Tabela 22** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z1.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
O	47,41	60,23	0,2267	1,0298	0,4640	1,0005	8
Na	8,72	7,71	0,0479	0,9609	0,2689	1,0040	1
Al	10,34	7,79	0,0765	0,9530	0,7685	1,0107	1
Si	33,53	24,26	0,2564	0,9763	0,7835	1,0000	3

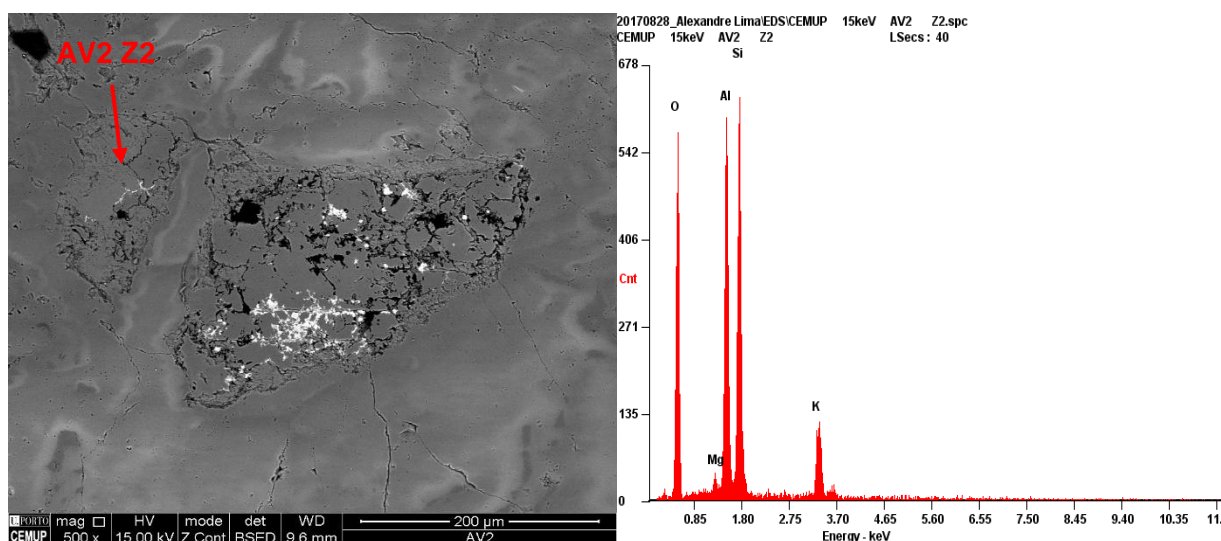


**Figura 68** – Albite vista ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- O segundo mineral (AV2 Z2) (Figura 69) analisado é um feldspato potássico, no cálculo da proporção atómica o valor de Mg não foi considerado por ser inferior a 1%.

**Tabela 23** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z2.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
<b>O</b>	47,14	61,78	0,1806	1,0345	0,3701	1,0004	13
<b>Mg</b>	0,79	0,68	0,0055	0,9886	0,6911	1,0089	-
<b>Al</b>	18,13	14,19	0,1405	0,9576	0,8027	1,0082	3
<b>Si</b>	24,96	18,64	0,1849	0,9815	0,7538	1,0010	4
<b>K</b>	8,97	4,81	0,0779	0,9318	0,9328	1,000	1



**Figura 69** - Feldspato potássico visto ao microscópio eletrónico e respetivo espectro EDS.

- O terceiro mineral (AV2 Z3) (Figura 70) trata-se de um mineral de arsenopirite, apesar de apenas dois minerais de arsenopirite serem apresentados, a lâmina era rica em minerais de arsenopirite, nos minerais analisados não foi encontrado ouro incluso.

**Tabela 24** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z3.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
<b>As</b>	45,95	32,86	0,3023	0,9341	0,7034	1,0013	1
<b>S</b>	21,49	35,90	0,1732	1,1301	0,7127	1,0009	1
<b>Fe</b>	32,56	31,24	0,3260	1,0060	0,9865	1,0087	1

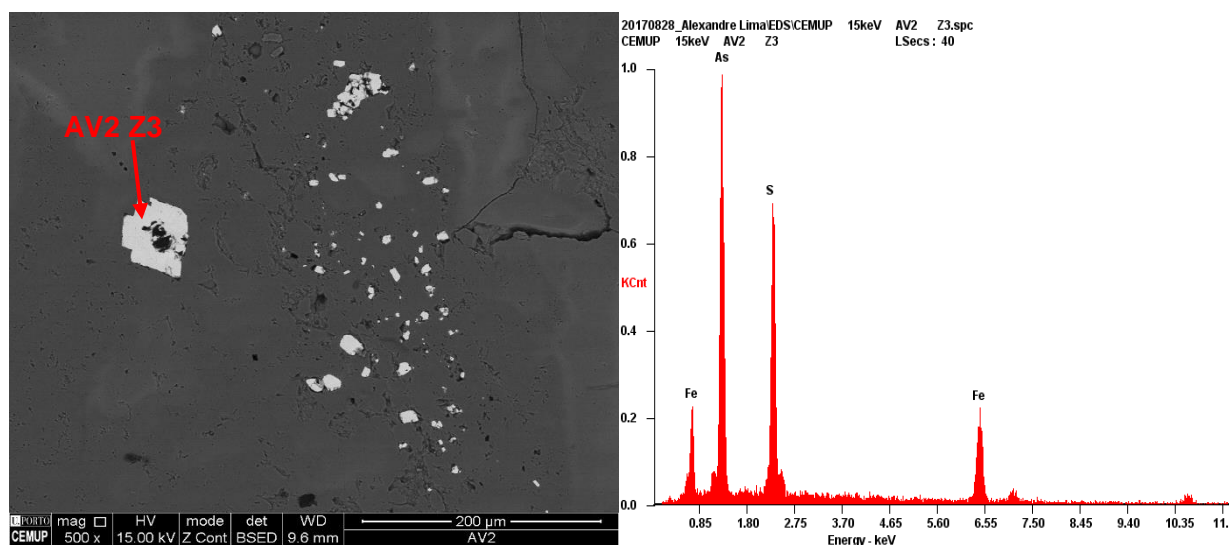


Figura 70 – Mineral de arsenopirite visto no microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- O quarto mineral (AV2 Z4) (Figura 71) e o quinto mineral (AV2 Z5) (Figura 72) analisados tratam-se de um óxido de arsénio e ferro e de um feldspato potássico que envolve o óxido, na análise química de ambas, o mineral detetado é o mineral vizinho, isto deve-se à proximidade de ambos os minerais.

Tabela 25 - Percentagem dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z4.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
O	41,16	71,88	0,1992	1,1106	0,4354	1,0009
Na	1,72	2,10	0,0076	1,0356	0,4215	1,0036
As	34,40	12,83	0,2136	0,8729	0,7109	1,0003
Al	1,52	1,57	0,0074	1,0322	0,4702	1,0004
Si	1,52	1,51	0,0090	1,0654	0,5578	1,0003
K	1,22	0,87	0,0113	1,0044	0,9167	1,0037
Fe	18,46	9,24	0,1734	0,9310	0,9984	1,0104

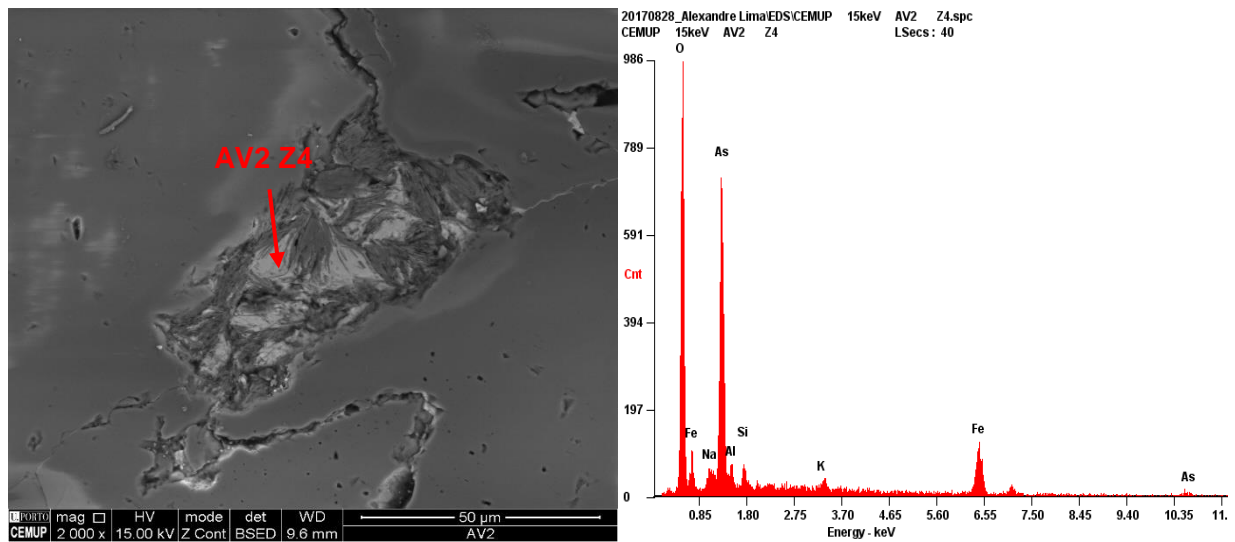


Figura 71 – Óxido de arsénio e ferro visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

Tabela 26 - Percentagem dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z5.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F
C	4,26	7,32	0,0075	1,0567	0,1668	1,0004
O	44,96	57,97	0,1695	1,0366	0,3635	1,0004
Na	0,39	0,35	0,0020	0,9672	0,5348	1,0041
As	2,38	0,65	0,0169	0,8156	0,8658	1,0073
Al	16,91	12,93	0,1273	0,9598	0,7789	1,0070
Si	22,09	16,23	0,1620	0,9839	0,7444	1,0009
K	7,71	4,07	0,0675	0,9339	0,9361	1,0003
Fe	1,29	0,48	0,0111	0,8590	0,9983	1,0010

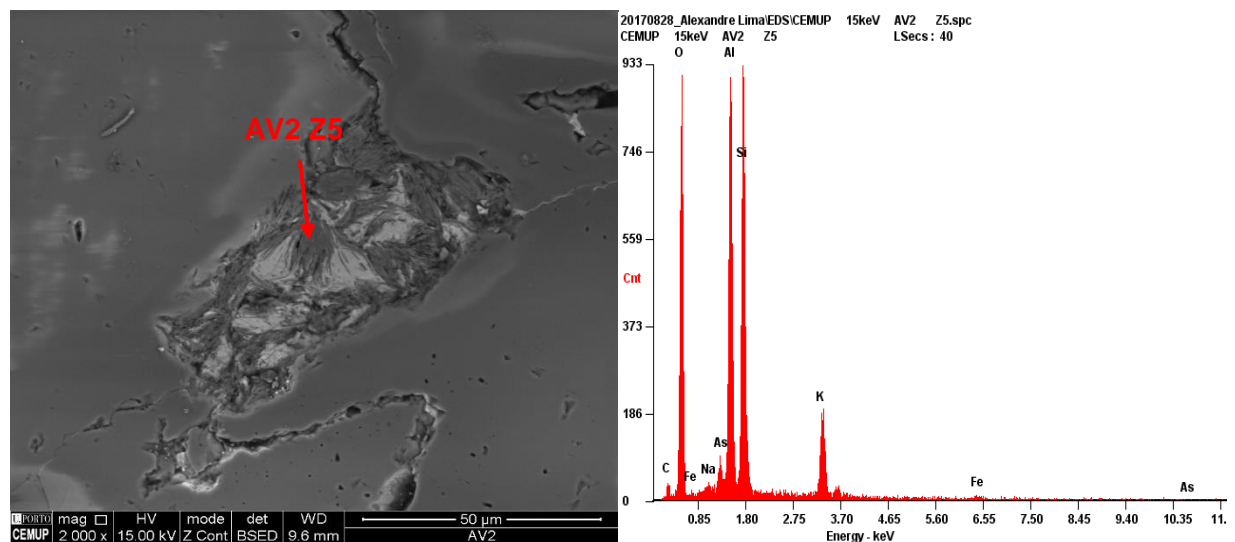
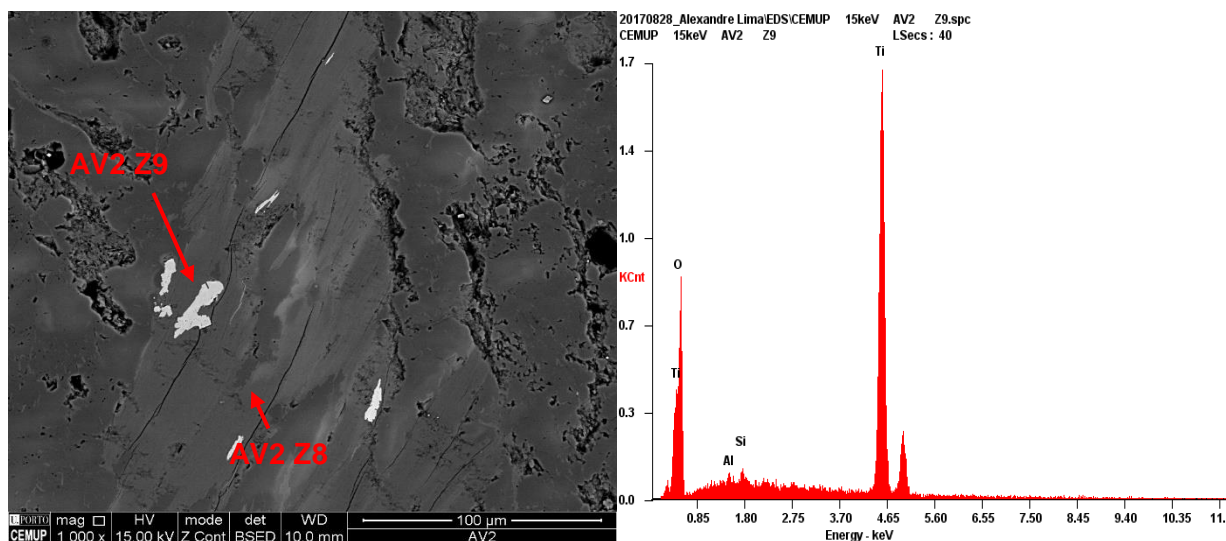


Figura 72 – Feldspato potássico visto ao microscópio eletrónico e respetivo espetro EDS.

- O sexto (AV2 Z6), sétimo (AV2 Z7) e oitavo mineral (AV2 Z8) (Figura 73) analisados tratam-se novamente de um mineral de plagioclase sódica e dois de feldspato potássico respetivamente. O nono mineral (AV2 Z9) (Figura 73) trata-se de um óxido de titânio, na análise MEV este mineral era recorrente e na análise ótica já tinha sido observado.

**Tabela 27** - Percentagem e proporção dos vários elementos identificados para o ponto AV2 Z9.

Elemento	Wt (%)	At (%)	K-Ratio	Z	A	F	Número de Átomos
O	43,13	69,42	0,0727	1,0926	0,1543	1,0000	2
Ti	56,87	30,58	0,5252	0,9179	1,0061	1,0000	1



**Figura 73** – Plagioclase sódica e óxido de titânio vistos ao microscópio eletrónico e espectro EDS do óxido de titânio.

- Os últimos dois minerais analisados tratam-se de um mineral de arsenopirite e de pirite.

Apesar das análises químicas realizadas indicarem a presença de ouro, nesta amostra (0,23 ppm) não foi encontrado nenhum grão de ouro nem os espectros EDS realizados no MEV indicam a presença do elemento, sendo assim, o ouro indicado pelas análises químicas estará na forma de ouro disseminado pela amostra.

## Discussão

---





## 6. Discussão

Na região de Corvos e Rates a presença de ouro é já conhecida através de trabalhos de prospeção realizados anteriormente, embora ainda seja discutível o modo de ocorrência, o tipo de associação paragenética presente e a litologia a que está associado. As regiões referidas não foram exploradas quanto à presença de ouro, porque os teores analisados para estas regiões bem como a sua distribuição espacial, fazem desta zona, uma zona de baixo interesse para investimento das empresas de prospeção geológica. O presente trabalho tem como objetivo dar resposta a algumas das questões levantadas anteriormente, tais como o modo de ocorrência do ouro, as suas associações a outros minerais e elementos, qual o tipo de associação paragenética bem como a que litologia e estruturas geológicas a que o ouro está associado. Para isso foram recolhidas algumas amostras de rocha da região de Rates e Corvos, em que algumas foram seleccionadas para análise química e análise petrográfica, sendo que ainda foram seleccionados alguns pontos de interesse para análise no MEV e a Raio-X, de forma a uma melhor identificação de alguns minerais de antimónio.

Na região de Corvos, as amostras recolhidas representam duas litologias (xisto e granito), devido à sua proximidade com o contacto entre os xistos do Silúrico e o granito porfiróide de Santo André e/ou o granito de grão médio ou grosseiro da Póvoa de Varzim. A proximidade a este contacto está assinalada pela presença de amostra de granito tectonizado (AV3 e AV4). Na amostra AV4 é possível observar a presença de enclaves de xisto na amostra de granito tectonizado, podendo tratar-se de uma brecha de contacto. A formação da brecha de contacto pode evidenciar a existência de movimento na zona de contacto. Na amostra AV7 é ainda possível observar marcas de deslizamento. A amostra AV2 é uma amostra de rocha de origem hidrotermal, visto não ter sido recolhida *in situ* não é possível saber a que litologia está associada, mas tendo em conta a presença de filonetes na amostra AV1 é possível afirmar que o xisto alberga filões de origem hidrotermal semelhantes à amostra AV2. O tamanho dos filões poderá estar relacionado com a distância à origem dos fluídos hidrotermais responsáveis pela formação destes filões. Esta origem pode estar relacionada com a ascensão e cristalização do magma que deu origem aos granitos que se situam a E dos xistos.

Na região de Rates foram recolhidas quatro amostras, sendo duas amostras de xisto, pertencendo à mesma unidade litoestratigráfica, uma das quais da zona de contacto com a estrutura mineralizada na mina. A outra amostra é de uma escombreira

e uma outra amostra proveniente da estrutura mineralizada da mina. Na região referida são já conhecidas algumas explorações de Sb também localizadas em metassedimentos do Silúrico. A amostra AV10 foi recolhida de uma estrutura filoniana tectonizada com atitude N145°- 70°SE, sendo que os filões de Sb para o distrito mineiro Dúrico-Beirão estão caracterizados com estruturas filonianas brecheficadas que podem variar entre alguns centímetros até 3,6 m de espessura e com direção aproximada NE-SW (Couto, 1993; Gumiel et al., 1987; Neiva et al., 2008), sendo assim a direção do filão estudado é em média perpendicular a direção dos filões de Sb-Au para o Anticlinal de Valongo. Medeiros, 1991 descreve a existência de brechas tectónicas paralelas a cisalhamentos N30°W em antigas explorações de Fe e Sb na região de Rates, sendo então possível que a direção do filão estudado esteja influenciada pela presença de faixas cisalhamentos NW-SE nesta região.

Através dos resultados das análises químicas é possível confirmar que a estrutura assinalada na zona de Rates (AV10) encontra-se mineralizada em Au (41,3 ppm) e Sb (9,760 %) com resultados semelhantes para a amostra RT2 (35 ppm de Au), tendo esta sido recolhida numa campanha de amostragens anterior, mas no mesmo local. Já para a amostra AV9 os resultados de Au e Sb são muito inferiores (0,04 ppm e <0,005 % (abaixo do limite de deteção)), isto pode indicar que as mineralizações de Sb-Au estavam concentradas no espaço e não distribuídas por todo o filão que foi explorado.

Na região de Corvos os valores de Au e Sb foram mais modestos, sendo que em apenas duas amostras (AV2 e AV3), a quantidade de ouro estava acima do limite de deteção do ensaio (0,23 ppm e 0,02 ppm). Os valores de Sb mostram a mesma tendência dos valores de Au, na amostra AV2 os valores de As são superiores aos valores de Sb, isto deve-se ao facto de a amostra AV2 ser rica em arsenopirite identificada a microscópio ótico.

De forma geral, os valores de Au e Sb encontrados são valores residuais e muito inferiores quando comparados com os valores apresentados por Couto, 1993 para os filões da Ribeira da Serra e Fontinha. É exceção a amostra AV10 que provém de um filão mineralizado encontrado na zona de Rates, em comparação com os valores de Lagoa Negra apresentados no anexo IV. A amostra AV2 apresenta valores na mesma ordem de grandeza para o Au, embora sendo na região de Lagoa Negra, e em contradição com o que acontece na zona de Rates, o Au apresenta uma maior afinidade com o As. Relativamente ao elemento Ag este não foi detetado em nenhuma amostra

recolhida, o que pode indicar que o Au que se encontra na região de Corvos e Rates não será encontrado na forma de electrum.

As amostras de Rates a nível mineralógico são constituídas essencialmente por quartzo e minerais de antimónio. Nas lâminas foi possível ainda observar encraves de xisto um pouco espalhados pela lâmina, massas alaranjadas de óxidos de ferro que normalmente se encontravam a rodear outros minerais, ouro metálico e plagioclases sódicas. Com a análise no MEV foi possível a identificação de alguns dos minerais de antimónio como sendo óxidos de antimónio, mais precisamente valentinite, estibiconite e outros minerais como óxidos de antimónio, ferro e arsénio e óxidos de antimónio e alumínio, a identificação de alguns minerais no MEV é pouco exata devido à pequena dimensão dos grãos de minerais. A estibiconite é um mineral secundário em depósitos hidrotermais e forma-se a partir da oxidação de minerais de antimónio, normalmente estibina, a qual substitui parcial ou totalmente. A valentinite é um produto da alteração de minerais de antimónio nas zonas oxidadas de depósitos hidrotermais. M. Ferreira & Andreda, 1970 já tinham assinalado, para o distrito mineiro Dúrico-Beirão, a presença de minerais de valentinite em Alto do Sobrido.

Quanto ao ouro este era facilmente identificado, devido ao tamanho do grão e à sua quantidade. Na análise ao EDS, apenas num grão de ouro foi detetado prata, mas em pequena quantidade (2,67%), sendo assim e como já era esperado pelos resultados das análises químicas, o ouro encontrado nesta zona está na sua forma de elemento nativo e não na forma de electrum. Os minerais de alteração de antimónio são abundantes na amostra e em conjugação com os valores da análise química, que demonstram a superioridade da quantidade de Sb em relação ao As, é possível afirmar que na zona de Rates, e em particular o filão estudado encontra-se associado às mineralizações de Sb-Au descritas para o distrito mineiro Dúrico-Beirão. O ouro encontrado nas lâminas de Rates encontra-se na forma granular e associado aos minerais de antimónio.

A amostra de Corvos que foi analisada ao microscópio trata-se de uma amostra de uma rocha formada em meio hidrotermal de precipitação química, cataclasada e composta essencialmente por quartzo, plagioclase sódica, feldspato e arsenopirite, foram também observados minerais de titânio identificados no MEV como óxidos de titânio e minerais de pirite, estes últimos apenas observados no MEV. Apesar de nas análises químicas ter sido detetado ouro, este não foi destacado a nível ótico nem a Raio-X, o que indica que o ouro se encontra difundido na matriz da rocha ou incluso na arsenopirite.





## Conclusão

---





## 7. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo o estudo das mineralizações de Au nas regiões de Corvos e Rates, como a determinação do estado do ouro, associações a outros minerais e elementos químicos, a identificação da associação paragenética presente em ambos os locais e litologias e estruturas geológicas a qual as mineralizações se encontram associadas.

Os resultados obtidos para a região de Rates apontam para a presença da associação paragenética Sb-Au. A nível cartográfico na região de Rates estão assinaladas duas antigas explorações de Sb, mas se tivermos em consideração os resultados apresentados durante este trabalho estas explorações serão de Sb-Au e não apenas de Sb. Nesta região as mineralizações de ouro encontram-se associadas a uma estrutura filoniana tectonizada identificada dentro de uma antiga explorações de antimónio na região.

Na região de Corvos os resultados em relação à associação paragenética presente são menos conclusivos, embora esteja assinalada a presença de Au este não foi observada ao microscópio ótico nem no MEV. Neste local os valores de As superam os de Sb, o que poderá indicar que nesta zona o Au estará associado ao As. A grande presença de minerais de arsenopirite e a não identificação de minerais de Sb vem corroborar a alteração da associação em relação à zona de Rates.

Apesar da proximidade entre estes dois locais (cerca de 8,2 km), os resultados obtidos apontam para uma variação no tipo de associação paragenética, esta questão bem como a realização de novos métodos para a deteção de ouro na zona Corvos, e o estudo de uma maior variedade de amostras com um processo de amostragem maior, ou a realização de amostragem em novas zonas, são questões a serem analisadas através da realização de novos trabalhos de forma a aprofundar do conhecimento geológico da zona de Rates e Corvos.



## Bibliografia

---



## 8. Bibliografia

- Amey, E., & Buttermann, W. (2005). Mineral Commodity Profiles-Gold. *USGS, Virginia*.
- Anderson, C. G. (2012). The metallurgy of antimony. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 72, 3-8.
- Berry, J. K. (2007). *Map analysis: understanding spatial patterns and relationships*: GeoTec Media San Francisco, CA.
- Buttermann, W., & Carlin Jr., J. (2004). *Mineral commodity profiles: Antimony* (2331-1258). Retrieved from
- Carter, M. R. (1993). *Soil sampling and methods of analysis*: CRC Press.
- Couto, H. (1993). As mineralizações de Sb-Au da região Dúrico-Beirã.
- Couto, H., & Borges, F. S. (2005). *Stratiform Sb and Au mineralizations in the Hercynian Dúrico-Beirã area (North Portugal)*. Paper presented at the Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge.
- Couto, H., Moëlo, Y., Roger, G., & Sodr -Borges, E. (2000). Caracteriza  o geoquímica das galenas da região Durico-Bira. Implica  es metalog nicas Geochemical characterization of galena from the Durico-Bira Region.
- Couto, H., Roger, G., Mo lo, Y., & Bril, H. (1990). Le district   antimoine-or Dúrico-Beirão (Portugal):  volution parag n tique et g ochimique; implications m tallog niques. *Mineralium Deposita*, 25, S69-S81.
- da Silva, A. F. B. (2016). Análise Espacial das Mineralizações de Antimónio em Relação com Magmatismo Básico Filoniano e Outras Características Geológicas no Distrito Auri-Antimon fero Dúrico-Beirão.
- Dedavid, B., Gomes, C., & Machado, G. (2007). *Microscopia eletr nica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*: EdiPUCRS.
- Díez-Balda, M., Vegas, R., & González-Lodeiro, F. (1990). Central-Iberian Zone. Autochthonous sequences: structure. *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, 172-188.
- Dinkins, C. P., & Jones, C. (2008). soil sampling strategies. *MONTANA State University*.
- Evans, A. M., & Barrett, W. L. (1995). *Introduction to mineral exploration* (Vol. 396): Blackwell Science.
- Ferreira, M., & Andreda, R. (1970). *Relatório sobre a mina de antimónio e Ouro do Alto do Sobrido*. Porto: Arquivo do Serviço de Fomento Mineiro.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., & Ribeiro, M. (1987). Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodin mico. *Geolog a de los granitóides y rocas asociadas del Macizo Hesp rico, Libro de Homenaje a LC García de Figuerola*. Editorial Rueda. Madrid, 37-51.
- Goldstein, J., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Romig Jr, A. D., Lyman, C. E., . . . Lifshin, E. (2012). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: a text for biologists, materials scientists, and geologists*: Springer Science & Business Media.
- Grout, F. F. (1932). *Petrography and petrology*: McGraw-Hill Book Company Inc; New York.
- Gumiel, P., & Arribas, A. (1987). Antimony deposits in the Iberian Peninsula. *Economic Geology*, 82(6), 1453-1463.

- Hasparyk, N., Gomides, M., Signini, R., Silva, H., Andrade, M., & Bittencourt, R. (2005). *Metodologias empregadas na investigação do teor de sulfetos*. Paper presented at the CITENEL–Anais do III Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Florianópolis.
- Julivert, M., Fontbote, J., Ribeiro, A., & Conde, L. (1972). Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, Escala 1: 1.000. 000. *Inst. Geológico y Minero de España. Madrid*.
- Martins, L. (2012). Mineral resources of Portugal: Lisboa: Direcção Geral de Energia e Geologia.
- Medeiros, A., Pereira, E., & Moreira, A. (1980). Notícia Explicativa da Folha 9D (Carta Geológica de Portugal escala 1: 50000–Penafiel). *Direcção Geral de Geologia e Minas, Serviços Geológicos de Portugal*.
- Meireles, C. A. P. d. (1991). Síntese sobre os Modelos Metalogenéticos das Ocorrências de Ouro em Portugal.
- Moura, A., & Velho, J. L. (2012). *Recursos geológicos de Portugal*.
- Multani, R. S., Feldmann, T., & Demopoulos, G. P. (2016). Antimony in the metallurgical industry: A review of its chemistry and environmental stabilization options. *Hydrometallurgy*, 164, 141-153.
- Neiva, A., Andráš, P., & Ramos, J. (2008). Antimony quartz and antimony–gold quartz veins from northern Portugal. *Ore Geology Reviews*, 34(4), 533-546.
- Nesse, W. D., & Schultze, D. J. (2004). *Introduction to Optical Mineralogy*: Oxford University Press.
- Noronha, F. (2007). The Hercynian orogeny in the NW of Iberian Peninsula. *GRANITIC PEGMATITES: THE STATE OF THE ART*, 9.
- Palermo, N. C., M. R. C. (2009). Procedimentos Técnicos In L. g. d. p. d. amostras (Ed.), *Laboratório geológico de processamento de amostras* (pp. 23): Universidade do estado do Rio de Janeiro.
- Pereira, E. (1992). Carta geológica de Portugal: notícia explicativa da folha 1 escala 1/200000 83.
- Reedman, J. (2012). *Techniques in mineral exploration*: Springer Science & Business Media.
- Ribeiro, A. (1974). *Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental*.
- Ribeiro, A. (2006). A evolução geodinâmica de Portugal. *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria. Universidade de Évora*, 1-27.
- Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G., . . . Monteiro, J. (1979). *Introduction à la géologie générale du Portugal*: Serviços geológicos de Portugal.
- Tan, K. H. (2005). *Soil sampling, preparation, and analysis*: CRC press.
- Thadeu, D. (1965). Notícia explicativa da carta mineira de Portugal na escala 1: 500000. *Serviços Geológicos de Portugal*.
- Tyrrell, G. W. (2012). *The principles of petrology: an introduction to the science of rocks*: Springer Science & Business Media.
- Vieira, R. (2010). Aplitepegmatitos com Elementos Raros da Região entre Almendra (VN de Foz-Côa) e Barca d'Alva (Figueira de Castelo Rodrigo). Campo Aplitepegmatítico da Fregeneda-Almendra. *Unpublished PhD. Thesis. Porto University, Portugal*, 192.

- Wedepohl, K. H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 59(7), 1217-1232.
- Winchell, N. H., & Winchell, A. N. (1937). *Elements of optical mineralogy: an introduction to microscopic petrography. 1. Principles and methods*: Wiley.



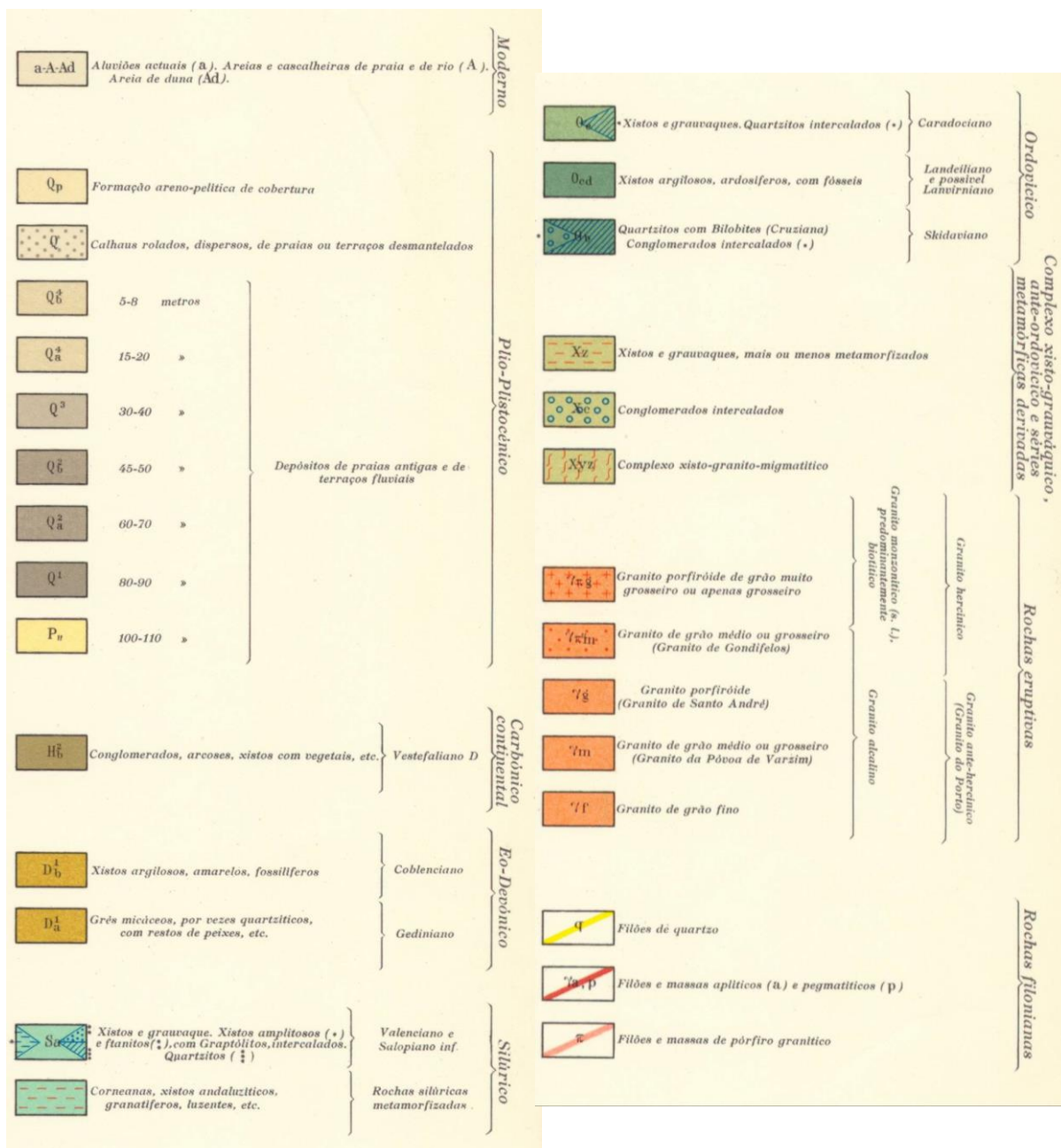
## **Anexos**

---



## Anexo I

*Legenda da folha 9-A à escala 1:50 000 da Carta Geológica de Portugal*





## Anexo II

### *Procedimento do método Au-AA25 e Au-AA26*

O método Au-AA25 é um método de espectrometria de absorção atómica em que uma amostra preparada anteriormente é derretida e misturada com óxido de chumbo, carbonato de sódio, borato de sódio, sílica e outros reagentes (quando necessário), a esta solução é adicionada 6 mg de prata livre de ouro, em seguida a solução irá produzir um alvo de metais preciosos para deteção do ouro.

Antes da solução produzida ser passível de ser analisada em espectrometria de absorção atómica, esta é alvo de um tratamento com ácido nítrico (0,5 mL diluído) e ácido clorídrico (0,5 mL concentrado) num forno de micro-ondas, após o tratamento com ácido a solução é arrefecida e diluída num volume total de 10 mL com água mineralizada e então analisada por espectrometria de absorção atómica e os resultados comparados com resultados padronizados.

Código do método	Elemento	Símbolo químico	Unidade	Peso da amostra (g)	Limite mínimo de deteção	Limite máximo de deteção
<b>Au-AA25</b>	Ouro	Au	ppm	30	0,01	100
<b>Au-AA26</b>	Ouro	Au	ppm	50	0,01	100



## **Anexo III**

### *Procedimento do método ME-ICPa*

A amostra é diluída numa mistura de ácido nítrico, perclorídrico e fluorídrico. O ácido perclorídrico é adicionado para auxiliar na oxidação da amostra e para reduzir a possibilidade de perdas mecânicas da amostra à medida que a solução é evaporada para a mistura de sais. Os elementos são determinados pela indução de plasma ligado – espectrometria de emissão atômica (ICP-AES).





## Anexo IV

Amostra	Localização		In Situ	Lâmina	Descrição	Elementos			
	Coordenadas	Localidade				Au (ppm)	Ag (ppm)	As	Sb (%)
RT2	-47780,79; 196714,71	Rates	X	LD* <sup>1</sup> /SP* <sup>2</sup>	Rocha muito alterada com estibina; Antiga exploração de Sb (contacto com xisto e granito)	35	-	-	-
K-23	-49675,62; 199360,3	Lagoa Negra	-	SP* <sup>2</sup>	Lidito c/ matéria orgânica silicificada	-	-	-	-
K-24	-49665,15; 199536,71		-		Arsenopirite disseminada no quartzo	0,30	0,40	1140 ppm	-
K-25	-49598,27; 199379,62		-		Estibina maciça no encosto de um provável filão de quartzo (2 amostras mesmas características)	0,21	4	> 10.000 ppm	-
	-49621,82; 199507,42		-						
AV1	530215,91m E; 4581546,49 m N	Corvos	X	-	Filitos alternados com intercalações assimétricas de quartzo; Filão tectonizado de quartzo paralelos a foliação e filonetes de quartzo secantes apresenta dissolução	<0,01	<1	<0,005 %	<0,005
AV2			-	LP* <sup>3</sup> /SP* <sup>2</sup>	Quartzo de precipitação química (hidrotermal)	0,23	<1	0,47 %	0,018
AV3			-	-	Granito Tectonizado	0,02	<1	<0,005 %	0,016
AV4			-	-	Granito Tectonizado com alteração visível e dissolução presente (Brecha de Contacto)	-	-	-	-
AV5			-	-	Presença de óxidos ou Hidróxidos de Ferro	<0,01	<1	0,005%	0,012
AV6			-	-	Xisto com foliação	-	-	-	-
AV7			-	-	Granito com estrias de deslizamento	-	-	-	-
AV8	524576,05 m E; 4587454,02 m N	Rates	X	-	Xisto com foliação	-	-	-	-
AV9			-	-	Quartzo com possíveis áreas de dissolução (proveniente da possível escombreira)	0,04	<1	<0,005 %	<0,005
AV10			X	-	Retira de um antiga exploração de antimónio (mesmo local que RT2)	41,30	<1	0,098%	9,760

\*1 LD – Lâmina Delgada

\*2 LP – Lâmina Polida

\*3 SP – Superfície Polida

Amostra	Elementos													
	Bi (%)	Ca (%)	Cd (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Hg (ppm)	Mg (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	P (%)	Pb(%)	S (%)
RT2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AV1	<0,005	0,01	<0,001	0,002	<0,005	2,96	<8	<0,01	0,009	<0,001	0,001	0,02	<0,01	<0,05
AV2	<0,005	0,03	<0,001	<0,001	<0,005	1,73	<8	0,02	0,006	<0,001	<0,001	0,04	<0,01	0,17
AV3	<0,005	0,05	<0,001	<0,001	<0,005	1	<8	0,03	0,005	0,001	<0,001	0,14	<0,01	<0,05
AV4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AV5	<0,005	0,01	<0,001	0,001	<0,005	12,95	<8	<0,01	0,043	0,001	0,002	0,28	<0,01	<0,05
AV6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AV7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AV8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AV9	<0,005	<0,01	<0,001	<0,001	<0,005	<1,36	<8	<0,01	0,009	<0,001	<0,001	<0,01	<0,01	<0,05
AV10	<0,005	0,28	<0,001	0,007	0,011	2,72	<8	0,02	0,01	<0,001	0,002	0,02	0,02	0,15